TRATTATO ELEMENTARE

DI FISICA

E DI

METEOROLOGIA

TRATTATO ELEMENTARE

DI FISICA

SPERIMENTALE ED APPLICATA

E DI

METEOROLOGIA

CON UNA NUMEROSA RACCOLTA DI PROBLEMI

illustrata con 630 figure intercalate nel testo

DEL SIGNOR A. GANOT

PROFESSORE DI MATEMATICA E DI FISICA

7ª EDIZIONE ITALIANA SULLA 10ª EDIZIONE ORIGINALE

AUMENTATA DI 44 NUOVE FIGURE

E DEI

PIU' RECENTI STUDII SULL'ACUSTICA E LA TELEGRAFIA ELETTRICA

PER CURA DEI DOTTORI

CAMILLO HAJECH

PROF. ORD. DI FISICA E DI MECCANICA NEL R. LICEO DI S. ALESSANDRO

E

VINCENZO MASSEROTTI

PROFESSORE ORD. DI STORIA NATURALE NEL R. LICEO DI PORTA NUOVA.

UNICA EDIZIONE AUTORIZZATA DALL' AUTORE

fatta sulla 10ª originale del 1862

ED ESEGUITA PER AUTORIZZAZIONE SPECIALE DELL' AUTORE

MILANO

DOTT. FRANCESCO VALLARDI, TIPOGRAFO-EDITORE

Contr. di S. Margherita N. 5.

1862

I numeri collocati sotto le figure alla destra del numero progressivo indicano, in centimetri, l'altezza degli apparati o la loro lunghezza in direzione orizzontale secondo che sono precedenti dalle lettere *a* ovvero *l*.

Ai Tipografi e Libraj d'Italia e dell'Estero

Il sottoscritto, in forza della cessione che il signor Prof. A. Ganot gli ha fatto del diritto esclusivo di traduzione in Italia del suo trattato elementare di Fisica sperimentata ed applicata e di Meteorologia illustrato con 630 figure, 10ª edizione francese (1862), ha pubblicato la presente traduzione dei Prof. C. Hajech e V. Masserotti (che è la 7.ª edizione della propria tipografia) e la pone sotto la salvaguardia delle leggi risguardanti le convenzioni internazionali per la proprietà letteraria. — Avvisa quindi tutti i Libraj perchè si astenghino dal pubblicare, o vendere altra traduzione della suddetta edizione francese, e dichiara che procederà a termini di legge contro i contravventori.

Milano 24 maggio 1862

Dott. Francesco Vallardi.

TRATTATO ELEMENTARE

DI FISICA

LIBRO PRIMO

DELLA MATERIA, DELLE FORZE E DEL MOTO

CAPITOLO I.

NOZIONI GENERALI.

1. **Oggetto della fisica.**—La *fisica* ha per oggetto lo studio di quei fenomeni che i corpi presentano senza subire alcun cambiamento nella loro chimica costituzione. La *chimica*, invece, studia particolarmente i fenomeni accompagnati da alterazioni della natura dei corpi.

2. **Materia.** — Chiamasi *materia* o *sostanza* tutto ciò che cade immediatamente sotto i nostri sensi (*).

Si conoscono oggidì sessantadue sostanze elementari o *semplici*, dalle quali cioè l'analisi chimica non giunse ad estrarre che una sola specie di materia. Ma è possibile che in avvenire il numero di queste sostanze aumenti o diminuisca; perchè può darsi che si giunga a scoprirne di nuove od a scomporne parecchie.

3. **Corpi, atomi, molecole.** — Ogni quantità limitata di materia è un *corpo*. Le proprietà dei corpi fanno conoscere che essi non sono formati di materia continua,

(*) Gli enti che possono cadere sotto i nostri sensi sono, a vero dire, i *corpi*; la *materia* poi è ciò che li costituisce. Si distinguono diverse specie di materia: una specie particolare di materia chiamasi *sostanza*; epperò le due voci materia e sostanza, usate dall'autore come sinonimi, hanno un significato diverso. (*Nota dei Trad.*)

ma di parti, per così dire, infinitamente piccole, che non possono essere fisicamente divise, contigue le une alle altre, e trattenute a distanza da attrazioni e da ripulsioni reciproche, che si distinguono col nome di *forze molecolari*.

Queste minime parti dei corpi si dicono *atomi*. Un gruppo di atomi forma una *molecola*. Quindi i corpi non sono che aggregati di molecole.

4. **Massa**. — Chiamasi *massa* di un corpo la quantità di materia che esso contiene. Non si può determinare la *massa assoluta* di un corpo; ma si può sempre determinare la sua *massa relativa*, cioè il rapporto della sua massa assoluta a quella di un altro corpo presa per unità.

5. **Stati dei corpi**. — Si distinguono tre stati dei corpi:

1. Lo *stato solido*, che si osserva, alle temperature ordinarie, nei legni, nelle pietre, nei metalli. Questo stato è caratterizzato da una tale coerenza fra le molecole, che esse non possono essere separate se non mediante uno sforzo più o meno considerabile. Per effetto di questa coerenza i corpi solidi tendono a conservare la propria forma.

2. Lo *stato liquido*, del quale ci forniscono esempi l'acqua, l'alcoole, gli olj. Il carattere distintivo dei liquidi è una coerenza così debole che le loro molecole possono scorrere le une sulle altre con una estrema facilità; d'onde risulta che questi corpi non tendono ad assumere alcuna forma particolare, ma prendono sempre quella dei vasi che li contengono.

3. Lo *stato gasoso*, che si osserva nell'aria e in molti altri corpi, i quali si dicono *gas o fluidi aeriformi*. Nei gas la mobilità delle molecole è ancora maggiore che nei liquidi; ma il principale carattere distintivo dei fluidi aeriformi è una tendenza ad assumere continuamente nuovo volume maggiore. Questo carattere, che più innanzi (226) impareremo a constatare per mezzo dell'esperienza, si denomina *espansibilità*.

Ai liquidi ed ai gas si dà il nome generale di *fluidi*.

La maggior parte dei corpi semplici, e molti composti, possono presentarsi successivamente allo stato solido, liquido e gasoso, a norma dei cambiamenti di temperatura. L'acqua ce ne offre un esempio notissimo.

I tre stati dei corpi dipendono dal rapporto fra le attrazioni e le ripulsioni molecolari.

6. **Fenomeni fisici**. — Ogni cangiamento che si manifesti nello stato di un corpo, senza alterazione della sua chimica costituzione, è un *fenomeno fisico*. La caduta di

un corpo, la produzione di un suono, la congelazione dell'acqua, sono fenomeni fisici.

7. **Leggi e teorie fisiche.** — Chiamasi *legge fisica* la relazione costante che esiste tra un fenomeno e la sua causa. Per esempio, si dimostra che il volume di una data massa di gas si riduce alla metà, ad un terzo, quando è sottopposto ad una pressione doppia, tripla della primitiva; è questa una legge fisica la quale si esprime dicendo che i volumi dei gas sono in ragione inversa delle pressioni.

Una *teoria fisica* è il complesso delle leggi che si riferiscono ad una stessa classe di fenomeni; onde le espressioni di *teoria della luce, teoria della elettricità*. Però, in un senso più limitato, questa denominazione si applica anche alla spiegazione di certi fenomeni particolari; di fatti, si dice, per esemdio, *teoria della rugiada, teoria del miraggio*.

8. **Agenti fisici.** — Si ammette che i fenomeni presentati dai corpi siano cagionati da *agenti fisici* o *forze naturali*, che dominano la materia.

Questi agenti sono l'*attrazione universale*, il *calorico*, la *luce*, il *magnetismo* e la *elettricità*.

Gli agenti fisici non ci si manifestano che pei loro effetti; la loro natura ci è compiutamente sconosciuta. Nello stato attuale della scienza non si può dire se essi siano proprietà inerenti alla materia, oppure sostanze sottili, impalpabili, diffuse in tutto l'universo e i cui effetti risultino da moti particolari impressi alla loro massa (*). Generalmente si ammette la seconda ipotesi; ma, allora, queste sostanze sono di diversa natura o risultano di un' unica sostanza variamente modificata? Sembra che quest'ultima opinione tenda a prevalere di mano in mano che si allarga il campo delle scienze fisiche.

Le sostanze di cui si ammettono costituiti gli agenti fisici, essendo prive di un peso apprezzabile anche colle bilancie più sensibili, si chiamano *fluidi imponderabili*; d'onde la distinzione di *materia ponderabile*, o materia propriamente detta, e di *materia imponderabile* o *agenti fisici*.

I fluidi imponderabili si chiamano anche *fluidi incoercibili*, per esprimere che non si possono imprigionare nè comprimere in vasi chiusi, come l'aria e gli altri gas.

(*) Qui l'autore intende parlare soltanto degli ultimi quattro agenti sopranominati. (*Nota del Trad*)

CAPITOLO II.

PROPRIETA' GENERALI DEI CORPI.

9. **Diverse sorta di proprietà**. — Per *proprietà* dei corpi o della materia si intendono le loro diverse maniere di presentarsi ai nostri sensi. Si distinguono in *generali* e in *particolari*. Le prime sono quelle che spettano a tutti i corpi in qualunque stato si considerino. Le proprietà generali che importa di conoscere fin da questo momento sono: l'*impenetrabilità*, l'*estensione*, la *divisibilità*, la *porosità*, la *compressibilità*, l'*elasticità*, la *mobilità* e l'*inerzia*.

Le proprietà particolari sono quelle che si presentano soltanto in certi corpi o in certi stati dei corpi: tali sono la *solidità*, la *fluidità*, la *tenacità*, la *duttilità*, la *malleabilità*, la *durezza*, la *trasparenza*, il *colore*, ecc,

Per ora non si parlerà che delle proprietà generali qui sopra enunciate; notando però che l'impenenetrabilità e l'estensione, anzichè proprietà generali della materia, sono attributi essenziali che basterebbero per definirla. Facciamo inoltre osservare che la divisibilità, la porosità, la compressibilità e la elasticità spettano soltanto ai corpi considerati come ammassi di molecole e non agli atomi.

10. **Impenetrabilità**. — L'*impenetrabilità* è la proprietà per la quale due corpi non possono occupare simultaneamente la stessa porzione dello spazio.

Questa proprietà, a dir vero, non appartiene che agli atomi. In molte circostanze sembra che i corpi penetrino l'uno nell'altro. Così per esempio, il volume di parecchie leghe risulta minore della somma dei volumi dei metalli che le costituiscono; ed un simile fenomeno si osserva nelle mescolanze dell'acqua coll' acido solforico o coll' alcoole. Tutte queste penetrazioni sono soltanto apparenti, e dipendono unicamente da ciò che le parti materiali, di cui risultano i corpi, non si toccano, ma esistono fra di esse degli interstizi i quali possono essere occupati da altre sostanze, come vedremo all'articolo *porosità* (15).

11. **Estensione**. — L'*estensione* è la proprietà che ha ciascun corpo di occupare una porzione limitata dello spazio.

Moltissimi strumenti furono costruiti per misurare l'estensione. Noi qui faremo conoscere il verniero e la vite micrometrica.

12. **Verniero.** — Il *verniero* trae il nome da quello del suo inventore, Vernier, matematico francese, morto nel 1637. Questo strumento forma parte di diversi apparati di fisica, come i barometri ed i catetometri. Risulta di due regoli: il più grande, AB (fig. 1), è fisso e diviso in parti eguali; il più piccolo, *ad*, che è mobile, costituisce propriamente il verniero. Per graduarlo, gli si dà una lunghezza eguale a 9 delle parti del regolo più grande, poi lo si divide in 10 parti uguali. Ne risulta che ogni parte del regolo *ad* è nove decimi di quelle del regolo AB.

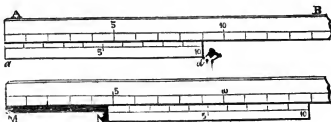



Fig. 1.

L'oggetto MN, di cui vogliasi misurare la lunghezza col verniero, deve essere collocato, come rappresenta la figura, accanto al regolo grande, e si trova allora che esso ha, per esempio, una lunghezza eguale a 4 parti di questo regolo, più una frazione. È appunto questa frazione che il verniero serve a valutare. Per ciò, lo si fa scorrere sul regolo fisso fintanto che giunga a toccare l'estremità dell'oggetto MN, indi si cerca il punto in cui coincidono le divisioni dei due regoli. Nella nostra figura questa coincidenza ha luogo alla ottava divisione del verniero, partendo dal punto N; ciò indica che la frazione da misurarsi è uguale a 8 decimi. Di fatti, essendo ciascuna delle parti del verniero eguale a nove decimi di una delle parti del regolo, si vede che, partendo dal punto di coincidenza e progredendo da destra a sinistra, le divisioni del verniero si trovano successivamente in addietro di quelle del regolo grande di uno, di due, di tre... decimi. Pertanto la estremità N del verniero è distante di 8 decimi dalla quarta divisione del regolo grande, e quindi MN è uguale a 4 delle parti di AB, più 8 decimi. Se ciascuna delle parti del regolo grande ha la lunghezza di un millimetro, si avrà la lunghezza dell'oggetto da misurarsi a

meno di un decimo di millimetro (*). Per ottenerla a meno di un ventesimo o di un trentesimo di millimetro, bisognerebbe dividere AB in millimetri, portarne 19 o 29 sul verniero, poi dividere quest'ultimo in 20 o 30 parti uguali. Ma allora, per rilevare la coincidenza, bisognerebbe far uso di una lente. Nella misura degli archi si adopera parimenti il verniero per valutare, in minuti ed in secondi, la frazioni di grado.

13. **Vite micrometrica.** — Chiamasi *vite micrometrica* una vite che si adopera per misurare con molta approssimazione le lunghezze o le grossezze. Quando una vite è ben fatta, il suo *passo*, cioè l'intervallo tra due spire consecutive, deve essere sempre uguale; d'onde risulta che la vite, se si muove in una chiocciola fissa, progredisce per ciascun giro di una lunghezza eguale a quella del passo, e che per una frazione di giro, per esempio 1/10, non si avanza che di 1/10 del passo. Per conseguenza, se il passo è di un millimetro, e se alla estremità della vite avvi una piastra circolare colla circonferenza divisa in 360 parti eguali e che giri con essa, facendo rotare questa piastra di un angolo che abbia per misura una di queste parti, si farà avanzare la vite di 1/360 di millimetro. Con questa vite si possono quindi misurare con grande precisione delle lunghezze e delle grossezze assai piccole.

14. **Divisibilità.** — La divisibilità è la proprietà che possiede ogni corpo di poter essere ridotto in parti distinte.

Si possono citare numerosi esempi della grande divisibilità dei corpi.

Bastano 5 centigrammi di muschio per diffondere, pel corso di parecchi anni, delle particelle odorose in un appartamento, quantunque l'aria vi sia frequentemente rinnovata.

Nel sangue trovansi fluttuanti dei globuli rossi. Nell'uomo questi globuli sono sferici ed il loro diametro non è che di un cencinquantesimo di millimetro. La goccia di sangue che può restare sospesa alla punta di un ago ne contiene presso a poco un milione.

(*) Nell'esempio addotto superiormente la misura della lunghezza si ha senza errore. L'errore poi sarà sempre minore di 1/20 di millimetro quando si assumano come corrispondenti le due divisioni del verniero e del regolo che si trovano più vicine l'una all'altra.

(*Nota dei Trad.*)

Finalmente, esistono animali tanto piccoli che non si possono vedere ad occhio nudo, e la cui esistenza ci sarebbe sconosciuta senza il soccorso del microscopio. Questi animali si muovono, si nutrono e quindi hanno degli organi; per conseguenza quale deve essere l'estrema tenuità delle particelle che costituiscono questi organi medesimi!

Potendosi spingere la divisione dei corpi a tal punto che le loro particelle sfuggano al tatto ed anche alla vista, quantunque soccorsa dai migliori microscopii, non è possibile constatare per mezzo dell'esperienza se la divisibilità della materia abbia un limite o se sia indefinita. Però, la stabilità delle proprietà chimiche di ciascun corpo e l'invariabilità dei rapporti esistenti fra i pesi degli elementi che si combinano, ci lasciano campo a supporre che la divisibilità abbia un limite. Per ciò si considerano i corpi siccome formati di parti che non sono suscettibili di essere divise e che si chiamano *atomi*, cioè *indivisibili* (2).

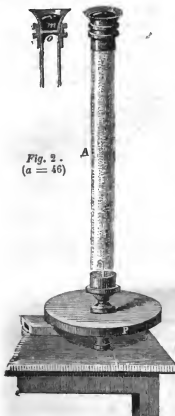
15. **Porosità.** — Fra le molecole dei corpi esistono degli interstizi ai quali si dà il nome di *pori:* l'esistenza di questi pori nei corpi costituisce un loro attributo, che chiamasi *porosità.*

Si distinguono due specie di pori: i *pori fisici*, o interstizi abbastanza piccoli perchè le forze molecolari attrattive e ripulsive conservino la loro azione; ed i *pori sensibili*, veri fori o lacune estese oltre i limiti dell'azione delle forze molecolari. Ai pori fisici sono dovute le contrazioni e le dilatazioni provenienti dai cambiamenti di temperatura. I pori sensibili, negli esseri organizzati, sono la sede dei fenomeni di esalazione e di assorbimento.

I pori sensibili si possono scorgere nelle spugne, nei legni e in un gran numero di pietre: i pori fisici non sono mai apparenti. Però, tutti i corpi diminuiscono di volume per il raffreddamento o per la compressione, e quindi devono essere forniti di pori fisici.

Per dimostrare esperimentalmente la porosità, si prende un lungo tubo di vetro A (fig. 2), terminato alla sua parte superiore da un vasetto di ottone *m*, ed alla sua parte inferiore da un piede della stessa sostanza, il quale si può applicare a vite sul piatto P di una macchina che serve a fare il vuoto. Il fondo del vasetto *m* è formato di un grosso cuoio di bufalo *o*. Vi si versa del mercurio in modo da ricoprire interamente il cuoio, poi si fa il vuoto nel

tubo. Ben presto, per effetto della pressione atmosferica che gravita sul mercurio, questo liquido passa a traverso i pori del cuoio e cade nel tubo sotto forma di una minuta pioggia. Nella stessa maniera si fa passare dell'acqua a traverso i pori del legno, quando si sostituisca al cuoio accennato un disco di legno tagliato perpendicolarmente alle fibre.

Fig. 2. ($a = 46$)

Se si immerge nell'acqua un pezzo di creta, se ne vede uscire una serie di piccole bolle d'aria. Quest'aria occupava evidentemente i pori della creta, d'onde è scacciata dall'acqua che vi penetra. Di fatti, se si pesa il pezzo di creta prima e dopo la sua immersione, si osserva che il suo peso è considerabilmente aumentato. Si può in tal modo desumere il volume totale dei pori dal peso dell'acqua assorbita.

La porosità dei metalli è stata dimostrata da un esperimento eseguito nel 1661 dagli accademici di Firenze. Questi accademici per constatare se l'acqua poteva decrescere in volume per effetto di una forte pressione, presero una piccola sfera cava d'oro a pareti sottili, la empirono d'acqua, e, dopo aver chiuso ermeticamente l'orifizio con saldatura, la percossero a colpi di martello per farne diminuire il volume. Allora, ad ogni colpo, l'acqua trapelava dai pori della parete in modo che si manifestò all'esterno come un velo di rugiada; il qual fatto dimostrò la porosità del metallo. Parecchi fisici, avendo ripetuto questo esperimento con altri metalli, giunsero al medesimo risultato.

16. **Volume apparente e volume reale.** — Avuto riguardo alla porosità, si possono distinguere in ciascun

corpo il *volume apparente*, cioè la porzione dello spazio occupata dal corpo, ed il *volume reale* che sarebbe quello occupato dalla sostanza propria del corpo quando i pori potessero essere annientati; in altre parole, il volume reale è il volume apparente meno il volume dei pori. Il volume reale di un corpo è invariabile, ma il volume apparente diminuisce od aumenta col volume dei pori.

17. **Applicazioni.** — Si è tratto profitto dalla porosità nei filtri di carta, di feltro, di pietra, di carbone, che si usano frequentemente nell'economia domestica. I pori di queste sostanze sono abbastanza ampi da lasciar passare i liquidi, ma troppo piccoli per dar passaggio alle sostanze che vi sono sospese. Nelle cave di pietre si fanno delle incavature nei massi e vi si introducono dei cunei di legno ben secco, i quali vengono successivamente inumiditi; l'acqua penetra nei loro pori, il legno si gonfia e fa distaccare voluminosi pezzi di questi massi. Le corde asciutte, quando vengano bagnate, aumentano di diametro e diminuiscono di lunghezza, e forniscono in tal modo un mezzo potente, che fu qualche volta adoperato, per sollevare enormi carichi.

18. **Compressibilità.** — La *compressibilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter essere ridotti ad un volume minore per effetto di una pressione. Questa proprietà è una conseguenza della porosità, della quale è pure una prova.

La compressibilità è assai variabile da un corpo all'altro. I corpi più compressibili sono i gas, parecchi dei quali possono essere ridotti, sotto sufficienti pressioni, ad un volume 10, 20 ed anche 100 volte più piccolo di quello che occupavano nelle ordinarie condizioni. Però, per la maggior parte dei gas, si trova un limite di pressione oltre il quale lo stato gasoso non persiste e vi subentra lo stato liquido.

La compressibilità dei solidi è assai minore di quella dei gas, e si presenta in gradi assai diversi. Le stoffe, la carta, il sughero, il legno e tutti i tessuti assai porosi, sono lo sostanze più compressibili. Sono compressibili anche i metalli, come lo dimostrano le impronte che acquistano le medaglie sotto il colpo del bilanciere. Devesi notare che anche la compressibilità dei solidi ha un limite, oltre il quale questi corpi, cedendo alla pressione, tutto ad un tratto si disgregano e si riducono spesse volte in polvere impalpabile.

I liquidi sono pochissimo compressibili, talmente che per molto tempo furono riguardati come affatto privi di compressibilità. Ma questa proprietà si riconosce coll'esperienza, come dimostreremo nell'idrostatica (78).

19. **Elasticità.** — L'*elasticità* è la proprietà che hanno i corpi di riacquistare la loro forma od il loro volume primitivo, quando ha cessato di agire la forza che alterava questa forma o questo volume. L'elasticità può essere sviluppata nei corpi per pressione, per trazione, per inflessione e per torsione. Come proprietà generale, accenneremo qui soltanto la elasticità di pressione; le altre specie di elasticità, le quali non si possono produrre che nei solidi, verranno studiate insieme colle altre proprietà particolari di questi corpi (69).

I gas sono perfettamente elastici, cioè riprendono esattamente il primitivo volume tosto che la pressione ritorna al valore primitivo. Lo stesso avviene dei liquidi, qualunque sia la pressione a cui furono sottoposti. Non avvi corpo solido che sia elastico perfettamente come i gas ed i liquidi, sopratutto quando le pressioni siano continuate per molto tempo. Nondimeno l'elasticità è assai evidente nella gomma elastica, nell'avorio, nel vetro, nel marmo, ed appena sensibile nei grassi, nelle argille, nel piombo.

I solidi hanno un limite di elasticità oltre il quale si rompono o, per lo meno, non riacquistano più esattamente la forma od il volume primitivo. Un tal limite non si trova nei gas e nei liquidi, i quali ritornano sempre al loro volume primitivo.

L'elasticità è il risultato di un ravvicinamento molecolare e quindi d'un cambiamento di forma, il quale, nei corpi solidi, si può riconoscere per mezzo del seguente esperimento. Sopra un piano di marmo levigato e ricoperto di un leggero strato di olio, si lascia cadere una piccola sfera d'avorio, o di vetro, o di marmo; essa rimbalza ad una altezza alquanto minore di quella della caduta, dopo di aver prodotto, nel luogo che ha colpito, un'impronta circolare tanto più estesa quanto maggiore è l'altezza da cui cadde. All'istante dell'urto, la sfera è stata quindi stiacciata sul piano, e rimbalza appunto per la reazione delle molecole così compresse.

20. **Mobilità, moto, quiete.** — La *mobilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter passare da un luogo all'altro.

Chiamasi *moto* lo stato di un corpo che cangia di luo-

go; *quiete* la sua permanenza in un medesimo luogo. La quiete ed il moto sono assoluti o relativi.

La *quiete assoluta* sarebbe la privazione di ogni moto. In tutto l'universo non si trova alcun corpo in questo stato.

Il *moto assoluto* di un corpo sarebbe il suo spostamento a fronte di un altro che si trovasse allo stato di assoluta quiete.

La *quiete relativa* o apparente, è lo stato di un corpo che ci sembra immobile rispetto ai corpi circostanti, ma che realmente ha un moto comune con essi. Per esempio, un corpo, il quale rimanga sempre allo stesso posto in un battello che si muove, è in quiete relativamente al battello, ma in realtà è in moto relativamente alle rive. Quindi la sua quiete è soltanto relativa.

Il *moto relativo* di un corpo non è altro che il suo moto apparente, cioè il suo moto rispetto ad altri corpi che si suppongono fissi, mentre in realtà essi pure cangiano di luogo. Tale è il moto di un battello rispetto alle rive di un fiume; di fatti, queste partecipano col battello al doppio moto di rotazione e di traslazione della terra nello spazio.

In natura non possiamo osservare che stati di quiete e di moto relativi.

21. **Inerzia.** — L'*inerzia* non è che una proprietà negativa, cioè l'inettitudine della materia a passare da sè stessa dallo stato di quiete a quello di moto, od a modificare il moto da cui trovasi animata.

La caduta dei corpi abbandonati a sè stessi è cagionata da una forza attrattiva che li dirige verso il centro della terra, e non è spontanea; la graduale diminuzione della velocità di una palla su di un bigliardo è prodotta dalla resistenza dell'aria spostata e dall'attrito sul tappeto. Non bisognerebbe perciò conchiuderne che questa palla ha una tendenza alla quiete piuttosto che al moto, come dicevano certi filosofi dell'antichità i quali paragonavano la materia ad un uomo pigro. Ogni volta che manca qualsiasi resistenza, il moto continua senza alterazione, come ce ne offrono un esempio gli astri nelle loro rivoluzioni intorno al sole.

22. **Applicazioni.** — L'inerzia della materia ci porge la spiegazione di molti fenomeni. Quando a cagione d'esempio, per saltare un fossato, prendiamo lo slancio, il moto da cui siamo animati aggiunge il suo effetto allo sforzo muscolare che facciamo per saltare.

Una persona che discenda da una carrozza in moto, partecipa al moto da cui questa trovasi animata; e, se non imprime al proprio corpo un moto in verso contrario, all'istante in cui tocca il suolo, è rovesciata nella direzione in cui la carrozza si muove.

È l'inerzia che rende sì terribili gli accidenti sulle ferrovie. Di fatti, se la locomotiva si arresta istantaneamente, il convoglio continua ad avanzarsi, ed i carrozzoni, in grazia della velocità acquistata, vanno ed infrangersi gli uni contro gli altri.

Finalmente, i martelli, i pestelli, i magli, sono applicazioni dell'inerzia. Lo stesso dicasi di quelle enormi ruote di ghisa che si chiamano *volanti*, e che servono a rendere regolare il moto delle macchine a vapore.

CAPITOLO III.

NOZIONI SULLE FORZE E SUI MOTI.

23. **Forze.** — Chiamasi *forza* ogni causa capace di produrre il moto o di modificarlo.

La contrattilità muscolare, la gravità, le attrazioni e le ripulsioni magnetiche od elettriche, la tensione dei vapori sono forze.

In generale si dà il nome di *potenze* alle forze che tendono a produrre un determinato effetto, e quello di *resistenze* alle forze che si oppongono a quest'effetto. Le prime tendono ad accelerare ad ogni istante il moto, e vengono distinte col nome di *forze acceleratrici;* le ultime sono chiamate *forze ritardatrici.*

Le forze possono agire sui corpi o per un tempo brevissimo, come avviene, per esempio, negli urti e nell'esplosione della polvere, o per tutta la durata del moto. Nel primo caso si dice che le forze sono *istantanee*, e nel secondo che sono *continue;* però importa notare che queste denominazioni non accennano a due specie di forze, ma soltanto a due modi di azione delle forze.

24. **Equilibrio.** — Quando ad uno stesso corpo sono applicate parecchie forze, può accadere che, neutralizzandosi queste scambievolmente, lo stato di quiete o di moto di questo corpo non venga modificato. A questo stato particolare dei corpi si applicò il nome di *equilibrio.* Non

bisogna confondere lo stato di equilibrio con quello di quiete: nel primo stato, un corpo è sottoposto all'azione di parecchie forze che si distruggono vicendevolmente; nel secondo caso non è sollecitato da alcuna forza.

25. **Caratteri, unità e rappresentazione delle forze.** — Ogni forza è caratterizzata: 1.° dal suo *punto di applicazione*, ossia dal punto ove essa agisce immediatamente; 2.° dalla sua *direzione*, cioè dalla linea retta che essa tende a far percorrere al proprio punto di applicazione; 3.° dalla sua *intensità* o dal suo valore relativamente ad un'altra forza presa per unità.

La forza che si sceglie per unità è affatto arbitraria; ma siccome l'effetto qualsiasi di trazione o di pressione cagionato da una forza può sempre essere prodotto da un certo peso, così, in generale, si paragonano le forze a pesi e si prende per unità di forza il chilogrammo. Per esempio, si dice che una forza è uguale a 20 chilogrammi, quando si può sostituirle l'azione di un peso di 20 chilogrammi.

Una forza è compiutamente determinata quando si conoscano i suoi caratteri, cioè il suo punto di applicazione, la sua direzione e la sua intensità. Per rappresentare questi diversi elementi di una forza si fa passare per il suo punto di applicazione, e nel verso in cui essa è diretta, una linea retta indefinita; poi, su questa linea, partendo dal punto di applicazione, e nel verso in cui opera la forza, si porta una unità di lunghezza arbitraria, per esempio il centimetro, tante volte quante la forza data contiene l'unità di forza. Si ha così una linea retta la quale rappresenta compiutamente la forza. Per denominare le forze rappresentate da rette, si contrassegnano per mezzo di lettere, per esempio P. Q. R.. che si collocano sulle loro direzioni rispettive.

Fig. 3.

Per far comprendere parecchi fenomeni fisici, stimiamo opportuno di compendiare qui i principii seguenti, che si dimostrano nei trattati di meccanica.

26. **Risultanti e componenti.** — Quando parecchie forze S, P, Q, applicate ad un medesimo punto materiale A (fig. 3), si fanno equilibrio, una qualunque di

esse, per esempio S, elide da sola l'azione di tutte le altre. La forza S, diretta in verso contrario secondo il prolungamento AR di SA, produrrebbe quindi da sè sola il medesimo effetto del sistema delle forze P e Q.

Ogni forza, la quale può in tal maniera produrre lo stesso effetto di diverse forze combinate, si chiama la loro *risultante*, e quelle altre forze, relativamente alla risultante, sono le sue *componenti*.

Fig. 4.

Un corpo sollecitato da parecchie forze si muove sempre secondo la direzione della risultante di tutte queste forze. Per esempio, se un punto materiale A (fig. 4) è sollecitato nello stesso tempo da due forze P e Q, siccome non può muoversi simultaneamente secondo le rette AP ed AQ, prende una direzione intermedia AR, che è precisamente quella della risultante delle forze P e Q.

Tutti i problemi sulla *composizione* e *decomposizione* delle forze si fondano sui teoremi seguenti, per la dimostrazione dei quali rimandiamo il lettore ai trattati speciali di statica.

27. Composizione e decomposizione delle forze parallele. — 1. *Due forze parallele applicate ad uno stesso punto ammettono una risultante uguale alla loro somma se sono dirette nello stesso verso, ed alla loro differenza se dirigonsi in versi contrari.* Per esempio, se due uomini tirano un carico secondo direzioni parallele cogli sforzi rispettivi 20 e 15, lo sforzo risultante sarà 35 o 5, secondo che essi tirano nel medesimo verso od in versi contrari.

2. *Quando due forze parallele* P *e* Q, *aventi la stessa direzione e dirette nello stesso verso, sono applicate alle estremità di una retta* AB (fig. 5), *la loro risultante* R *è eguale alla loro somma, è parallela ad esse e divide la retta* A B *in due parti inversamente proporzionali alle forze stesse* P *e* Q. In altre parole, rappresentando con C il punto d'applicazione della risultante, se la forza P è doppia, tripla della forza Q, la parte BC è doppia, tripla di AC. D'onde risulta che quando le forze

Fig. 5.

P e Q sono eguali, la direzione della loro risultante divide la linea AB in due parti eguali.

Reciprocamente, ad una forza unica R, applicata in C, si può sostituire il sistema delle forze P e Q, delle quali essa è la somma, purchè queste le siano parallele, e, presi i punti A, B, C in linea retta, queste due nuove forze siano in ragione inversa delle lunghezze AC e CB.

Per ottenere la risultante di un numero qualunque di forze parallele e dirette nello stesso verso, cercasi dapprima quella di due di queste forze, poi la risultante di una terza e della risultante già ottenuta, e così di seguito, il che conduce ad una risultante unica eguale alla somma delle forze date e parallela alle medesime.

28. **Composizione e decomposizione delle forze concorrenti.** — Si chiamano *forze concorrenti* quelle le cui direzioni si incontrano in uno stesso punto ove si ponno supporre tutte applicate. Così, sono concorrenti le forze di parecchi uomini, i quali, per suonare una campana, tirano delle funi fissate ad uno stesso nodo sulla corda della medesima.

Si considerino dapprima due forze concorrenti P e Q (fig. 6), ed A sia il loro punto di applicazione. Se si prendono sulla loro direzione due lunghezze AB e AC proporzionali alle loro intensità (25) e se, dai punti B e C, si conducono le rette rispettivamente parallele alle direzioni delle forze, si ottiene un parallelogrammo ABCD che si chiama *parallelogrammo delle forze*, e che fa conoscere facilmente la risultante delle forze P e Q, per mezzo del seguente teorema, conosciuto dal pari sotto il nome di *teorema del parallelogrammo delle forze.*

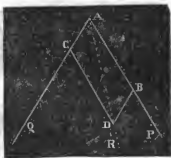



Fig. 6.

29. **Parallelogrammo delle forze.** — La *risultante di due forze concorrenti è rappresentata, in grandezza e in direzione, dalla diagonale del parallelogrammo costrutto su queste forze.* Cioè, nella figura 7, la risultante R delle forze P e Q è diretta secondo la diagonale AD, e contiene l'unità di forza tante volte quante questa diagonale contiene l'unità lineare che è stata portata sopra AB ed AC per rappresentare le forze P. Q.

Reciprocamente, una forza unica può essere decomposta in due altre applicate allo stesso punto della prima e che si dirigano secondo rette determinate. Per ciò, basta costruire su queste rette quel parallelogrammo la cui diagonale sia la forza data; le lunghezze dei lati rappresentano le componenti cercate.

Nel caso di un numero qualunque di forze concorrenti in uno stesso punto in diverse direzioni, la risultante si ottiene applicando successivamente il teorema precedente dapprima a due di queste forze, poi alla risultante ottenuta ed alla terza forza, e così di seguito fino all'ultima.

Gli effetti della composizione e della decomposizione delle forze si presentano assai sovente alla nostra osservazione. Per esempio, quando una barca mossa dall'azione dei remi attraversa un fiume, non si avanza nella direzione secondo la quale la spingono i remi, nè segue quella della corrente, ma si muove precisamente nella direzione della risultante dei due impulsi ai quali è sottoposta.

NOZIONI SUI MOTI.

30. **Differenti generi di moti.** — Abbiamo già veduto (20) che il *moto* è lo stato di un corpo il quale passa da un luogo ad un altro. Ogni moto è *rettilineo* o *curvilineo* secondo che la via percorsa dal mobile è una linea retta od una linea curva; ciascuno poi di questi moti può essere *uniforme* o *vario*.

31. **Moto uniforme.** — Il *moto uniforme*, il più semplice di tutti i moti, è quello di un mobile che percorre spazi eguali in tempi eguali.

Ogni forza istantanea produce un moto rettilineo ed uniforme, quando il mobile non è sottoposto ad alcuna altra forza e non incontra resistenza di sorta. Di fatti, non agendo la forza che per un tempo brevissimo, il mobile, abbandonato che sia a sè medesimo, conserva, in causa della sua inerzia, la direzione e la velocità che la forza gli impresse. Però, anche le forze continue possono dare origine a moti uniformi. Ciò appunto accade quando si presentano delle resistenze le quali, rinnovandosi continuamente, distruggono l'aumento di velocità che queste forze tendono a comunicare al mobile. Per esempio, un convoglio il quale, su d'una ferrovia, è sollecitato da una forza continua, si muove ciò non pertanto di moto uni-

forme; perchè, aumentando colla velocità le perdite di forza dovute alla resistenza dell'aria ed all'attrito, giunge un istante in cui si stabilisce l'equilibrio fra la forza motrice e le resistenze.

32. **Velocità e legge del moto uniforme.** — Nel moto uniforme, chiamasi *velocità* lo spazio percorso nel l'unità di tempo. Quest'unità, affatto arbitraria, è generalmente il minuto secondo. Dalla definizione del moto uniforme risulta che la velocità è costante. Adunque in tempi la cui misura sia due, tre, quattro, gli spazi percorsi sono doppi, tripli, quadrupli della velocità. Questa legge si esprime dicendo che *gli spazi percorsi sono proporzionali ai tempi, cioè che crescono come i tempi.*

Questa legge può essere rappresentata con una formola semplicissima. Per ciò, siano v la velocità, t il tempo, ed s lo spazio percorso. Siccome v rappresenta lo spazio percorso nell'unità di tempo, così lo spazio percorso in 2, 3,.... unità di tempo, sarà $2v$, $3v$....; e, finalmente, nel tempo t, sarà t volte v; si ha dunque $s = vt$.

Da questa formola si deduce $v = \frac{s}{t}$, onde si può dire che, nel moto uniforme, *la velocità è il rapporto fra lo spazio percorso ed il tempo impiegato a percorrerlo.*

33. **Moto vario.** — Il *moto vario* è quello di un mobile che percorre, in tempi eguali, spazi diseguali. Di questo moto esistono infinite specie; ma la sola che qui ci importi di considerare è quella del moto uniformemente vario.

Il *moto uniformemente vario* è quello nel quale gli spazi percorsi in tempi eguali e successivi crescono o diminuiscono costantemente di una stessa quantità (52, 2.ª *legge, conseguenza*). Nel primo caso il moto è *uniformemente accelerato*; tale è, quando si faccia astrazione dalla resistenza dell'aria, il moto di un corpo che cade. Nel secondo è *uniformemente ritardato*; tale è il moto di una pietra lanciata verticalmente dal basso all'alto.

Il moto uniformemente vario è sempre prodotto da una forza continua costante, la quale agisce come potenza o come resistenza, secondo che il moto è accelerato o ritardato.

34. **Velocità e leggi del moto uniformemente accelerato.** — Nel moto uniformemente accelerato, non essendo eguali gli spazi percorsi in tempi eguali, la velocità non è più lo spazio percorso nell'unità di tempo,

come nel moto uniforme. In tal caso, si intende per *velocità*, ad un dato istante del moto, lo spazio che, partendo da questo istante, sarebbe percorso dal mobile in ciascun minuto secondo, se la forza acceleratrice cessasse ad un tratto, cioè se il moto diventasse uniforme. Per esempio, dicendo che un mobile ha una velocità di 60 metri dopo 10 minuti secondi di moto uniformemente accelerato, si vuole indicare che se la forza acceleratrice, la quale agì fino a quel punto, cessasse dopo 10 secondi, il mobile, in grazia della propria inerzia, continuerebbe a muoversi percorrendo uniformemente 60 metri ad ogni secondo.

Ora, ogni moto uniformemente accelerato, qualunque ne sia l'incremento di velocità, è soggetto alle due leggi seguenti:

1.º *Le velocità crescono proporzionalmente ai tempi.* Cioè, dopo un tempo doppio, triplo, quadruplo, la velocità acquistata è parimenti doppia, tripla, quadrupla.

Questa legge è la conseguenza della definizione del moto uniformemente accelerato.

2.º *Gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.* Cioè, se si rappresenta con 1 lo spazio percorso in 1 minuto secondo, gli spazi percorsi in 2, 3, 4, 5.... secondi, sono rappresentati da 4, 9, 16, 25.... quadrati dei numeri che esprimono i tempi.

Queste due leggi si dimostrano col calcolo (55); trattando della gravità, vedremo come si possano dimostrare coll'esperienza (54).

35. **Proporzionalità tra le forze e gli incrementi di velocità; quantità di moto.** — Nella meccanica razionale si dimostra che quando parecchie forze costanti, F, F', F''...., agiscono successivamente su di uno stesso corpo, esse gli imprimono, in tempi eguali, degli incrementi di velocità G, G', G''.... proporzionali a sè stesse, e quindi che si ha $\frac{F}{F'}=\frac{G}{G'}$, $\frac{F}{F''}=\frac{G}{G''}$ ...

Per mezzo di questo principio si può adunque dedurre la misura delle forze dagli incrementi di velocità che queste comunicano ai mobili, valutando le forze in chilogrammi e le velocità in metri; di più, come dalle uguaglianze ora espresse, si deduce $\frac{F}{G}=\frac{F'}{G'}=\frac{F''}{G''}$..., vedesi che, per uno stesso corpo, il rapporto tra la forza che lo sollecita e l'incremento di velocità che gli viene da essa comunicato è costante, qualunque sia la forza. I meccanici adottano appunto questo rapporto costante per rappresen-

tare la massa dei corpi (4), e dicono che due corpi hanno la stessa massa allorchè, sollecitati da forze uguali, assumono, nel medesimo tempo, uguali incrementi di velocità.

Quindi, rappresentando con M e m le masse di due corpi, con F e f le forze che agiscono su di essi, con V e v le velocità che loro comunicano nello stesso tempo le forze, si ha $\frac{F}{V} = M$, $\frac{f}{v} = m$; o $F = MV$, ed $f = mv$.

Dividendo queste due uguaglianze, membro per membro si, ha $\frac{F}{f} = \frac{MV}{mv}$.

Il prodotto MV della massa di un corpo per la velocità dalla quale è animato ricevette il nome di *quantità di moto* di questo corpo. Epperciò si può enunciare l'ultima eguaglianza più sopra espressa dicendo, che due forze qualsiansi sono fra loro come le quantità di moto che imprimono a due masse diverse. Quindi, se si prende per unità di forza quella che imprimerebbe all'unità di massa l'unità di velocità nell'unità di tempo, si vede che le forze si possono misurare colle quantità di moto che ad esse corrispondono.

Le forze essendo proporzionali alle quantità di moto corrispondenti, ne risulta che per una medesima forza il prodotto MV è costante; cioè, che la massa diventando doppia, tripla, la velocità è due, tre volte più piccola. Questo risultato si deduce dall'ultima equazione precedente, ponendovi $F = f$, ciò che dà $MV = mv$, ovvero $\frac{M}{m} = \frac{v}{V}$, cioè, le velocità impresse da una stessa forza a due masse diverse sono in ragione inversa di queste masse.

Gli effetti prodotti dall'urto dipendono dalla quantità di moto del corpo urtante; e siccome questa quantità è direttamente proporzionale alla massa ed alla velocità, con una piccola massa un corpo può non pertanto possedere una considerabile quantità di moto quando sia animato da una grandissima velocità; tale è il caso di una palla da fucile. Parimenti con poca velocità un corpo possiede una enorme quantità di moto quando la sua massa sia bastantemente grande: tale è il caso dei martelli, dei magli, dei pestelli, delle berte che servono a conficcare i pali per le costruzioni sott'acqua. Finalmente, se il corpo ha simultaneamente una grande velocità ed una considerabile massa, la sua quantità di moto potrà produrre terribili effetti: ce ne offrono esempi le rovine prodotte dalle palle di cannone e gli spaventosi accidenti delle ferrovie.

Negli scontri della cavalleria il massimo effetto verrà raggiunto dalla parte nella quale sarà maggiore la quantità di moto. Il peso dei cavalli, delle bardature, dei cavalieri e delle armi ha il suo effetto utile, quando però la velocità sia abbastanza grande; perchè se la velocità fosse nulla, nulla sarebbe del pari la quantità di moto. Quindi s'intende ciò che l'esperienza dimostrò costantemente, che cioè la cavalleria risultante di cavalli e di cavalieri anche assai pesanti e robusti, non può sostenere di piè fermo l'urto della cavalleria leggera.

LIBRO II.

GRAVITA' ED ATTRAZIONE MOLECOLARE.

CAPITOLO I.

EFFETTI GENERALI DELLA GRAVITA'.

36. **Attrazione universale, sue leggi.** — L'*attrazione universale* è la forza in virtù della quale tutte le parti materiali dei corpi tendono continuamente le une verso le altre.

Questa forza viene considerata come una proprietà generale inerente alla materia. Per essa tutti i corpi, siano in quiete od in moto, si attraggono reciprocamente, a tutte le distanze ad a traverso di qualunque sostanza.

L'attrazione universale prende diversi nomi: chiamasi *gravitazione* l'attrazione che agisce fra gli astri; *gravità* l'attrazione che la terra esercita sui corpi per farli cadere, ed *attrazione molecolare* quella che unisce fra loro le molecole dei corpi.

I filosofi antichi, Democrito, Epicuro, avevano adottato l'ipotesi di una tendenza della materia verso centri comuni sulla terra e sugli astri. Kepler ammise una attrazione reciproca fra il sole, la terra e gli altri pianeti. Bacone, Galileo, Hook riconobbero del pari una attrazione universale; ma, Newton, pel primo, dedusse dalle leggi di Kepler sui moti dei pianeti che la gravitazione è una legge generale della natura, e che la *sua intensità è direttamente proporzionale alla quantità di materia attraente, e in ragione inversa del quadrato delle distanze.*

In seguito a Newton, queste leggi furono dimostrate esperimentalmente da Cavendish, celebre chimico e fisico inglese, morto sul principio del secolo corrente. Questo scienziato, per mezzo di un apparecchio che si chiama *bilancia di Cavendish* e consiste in una bilancia di torsione (70), giunse a rendere sensibile l'attrazione esercitata da una grossa sfera di piombo su di una piccola palla di rame.

37. Gravità. — La *gravità* è la forza in virtù della quale i corpi abbandonati a sè stessi cadono, cioè si dirigono verso il centro della terra. Questa forza, la quale non è che un caso particolare dell'attrazione universale, deriva dall'attrazione reciproca fra la massa della terra e quella dei corpi.

Al pari della gravitazione universale, la gravità agisce in ragione inversa del quadrato della distanza e proporzionalmente alla massa. Essa opera su tutti i corpi, qualunque sia la condizione in cui si trovano; taluni, come le nubi, il fumo, coll'elevarsi nell'atmosfera, sembrano sottrarvisi; però vedremo più innanzi (159) che la gravità stessa è la causa di questi moti.

38. Direzione della gravità, verticale ed orizzontale. — Quando le molecole di una sfera materiale agiscono per attrazione, in ragione inversa del quadrato della distanza, sopra una molecola collocata fuori di questa sfera, si dimostra nella meccanica razionale, che la risultante di tutte queste attrazioni è quale sarebbe se tutte le molecole della sfera fossero riunite nel suo centro. Da questo principio risulta che in ogni punto della superficie del globo l'attrazione della terra è diretta verso il suo centro. Tuttavia lo schiacciamento della terra ai poli, la etereogeneità delle sue parti, le ineguaglianze della sua superficie sono altrettante cause che possono determinare una deviazione, benchè poco sensibile, nella direzione della gravità.

Chiamasi *verticale* la direzione della gravità, cioè la linea retta che seguono i corpi nel cadere. Siccome le verticali corrispondenti ai vari punti del globo convergono sensibilmente verso il centro, così le loro direzioni cangiano da un luogo all'altro; ma per punti poco distanti fra loro, quali sono le molecole di un medesimo corpo o di corpi vicini, si considerano le verticali siccome rigorosamente parallele, perchè il raggio medio della terra, cioè quello che corrisponde alla latitudine di 45°, essendo di 6,367,400 metri, l'angolo che due di queste verticali comprendono fra loro è insensibile. Nondimeno, per due punti lontani l'uno dall'altro, quest'angolo non è trascurabile; esso è di circa 2° 12′ fra le verticali di Parigi e Dunkerque, e di 7° 28′ fra quelle di Parigi e di Barcellona. Per determinare l'angolo formato dalle verticali di due luoghi diversi, si misura in ciascuno di essi l'angolo che fa colla verticale il raggio visuale diretto ad una me-

desima stella. La differenza degli angoli trovati è l'angolo che fanno tra loro le due verticali (1).

Per *retta orizzontale, piano orizzontale*, intendesi una retta, un piano perpendicolare alla verticale.

39. **Filo a piombo.** — La verticale di un luogo qualunque si determina per mezzo del *filo a piombo*. Chiamasi con tal nome un filo al quale è sospesa una piccola palla di piombo (fig. 7). Questo filo, fissato per la sua estremità superiore e abbandonato a sè stesso, prende naturalmente la direzione verticale, perchè un corpo che ha un solo punto di appoggio non può essere in equilibrio se non quando il suo centro di gravità ed il suo punto di appoggio si trovano su di una medesima verticale (43).

Fig. 7.

Il filo a piombo non può indicare se la direzione della gravità in un determinato luogo sia costante. Di fatti, se si osservasse, per esempio, che il filo a piombo, parallelo dapprima al muro di un edificio non lo è più successivamente, mal si saprebbe se ha cambiato direzione la gravità o si è inclinato il muro. Ma, trattando delle proprietà dei liquidi, vedremo che la loro superficie non può conservarsi orizzontale, o *di livello*, se non quando è perpendicolare alla direzione della gravità. Per conseguenza, se questa cambiasse, cambierebbe pure il livello dei mari. La stabilità di questo livello è quindi una prova che la direzione della gravità è costante.

Però, in vicinanza di un grande ammasso di materia, per esempio, di una montagna, il filo a piombo è deviato; Lacondamine e Bouguer hanno constatato che il Chimborazo fa deviare il filo di 7″, 5.

(1) Si suppone qui che i due luoghi si trovino sullo stesso meridiano, e che la stella sia osservata al momento del suo passaggio pel meridiano.
(*Nota dei Trad.*).

CAPITOLO II.

DENSITA', PESI, CENTRO DI GRAVITA', BILANCIA.

40. **Densità assoluta e densità relativa.** — Si chiama *densità* di un corpo la massa di ogni unità di volume del corpo medesimo (4). Non si può dire qual sia la *densità assoluta*, cioè la effettiva quantità di materia contenuta nell'unità di volume di un corpo; si può soltanto determinare la sua *densità relativa*, cioè il rapporto tra la quantità di materia che esso contiene, e quella che a volume uguale contiene un altro corpo preso per termine di confronto. Per i solidi ed i liquidi, si sceglie come termine di confronto l'acqua distillata e presa a 4 gradi sopra zero; per i gas si sceglie l'aria. Per conseguenza, quando si dice che la densità dello zinco è 7, s'intende che un dato volume di questo metallo contiene 7 volte la quantità di materia contenuta in un egual volume di acqua.

Rappresentando con V il volume di un corpo, con M la sua massa assoluta, e con D la quantità di materia che esso contiene sotto l'unità di volume, cioè la sua densità assoluta, è evidente che la quantità di materia contenuta nel volume V è V volte D; d'onde $M = VD$. Da questa eguaglianza si deduce $D = \frac{M}{V}$; quindi si può anche dire che *la densità assoluta di un corpo è il rapporto tra la sua massa ed il suo volume.*

41. **Pesi.** — In qualsiasi corpo si distinguono il *peso assoluto*, il *peso relativo* e il *peso specifico*.

Il *peso assoluto* di un corpo è la pressione che esso esercita sull'ostacolo che ne impedisce la caduta. Siccome questa pressione non è altro che la risultante delle azioni che la gravità esercita sopra ciascuna molecola del corpo, così essa è tanto più intensa quanto maggiore è la quantità di materia che il corpo contiene; ciocchè si esprime dicendo che il peso di un corpo è proporzionale alla sua massa.

Il *peso relativo* di un corpo è quello che si determina colla bilancia, ossia il rapporto tra il peso assoluto del corpo ed un altro peso determinato scelto per unità. Nel sistema metrico, questa unità è il grammo. Così, quando si trova che un corpo pesa 58 grammi, 58 è il suo peso relativo. Adottando un'altra unità, il peso relativo cangierebbe, ma il peso assoluto sarebbe ancora lo stesso.

Finalmente, il *peso specifico* di un corpo è il rapporto tra il peso relativo, sotto un certo volume, e quello di un egual volume di acqua distillata ed a 4 gradi sopra zero. Quindi, dicendo che il peso specifico dello zinco è 7, s'intende che, a volume uguale, lo zinco pesa 7 volte quanto l'acqua distillata.

Siccome i pesi dei corpi, sotto eguali volumi, sono proporzionali alla loro massa, così se un corpo contiene il doppio, il triplo di materia in confronto di un egual volume d'acqua, deve essere due, tre volte più pesante; per conseguenza, il rapporto fra quei pesi, ossia il peso specifico, deve essere uguale al rapporto fra le masse, cioè alla densità relativa. Quindi le espressioni *densità relativa* e *peso specifico* sono generalmente considerate siccome equivalenti. Non pertanto, se la gravità fosse distrutta, non vi sarebbe più nè peso assoluto nè peso relativo, mentre si potrebbero sempre prendere in considerazione le densità. Esse non si potrebbero allora determinare colla bilancia; ma abbiamo veduto (35), che il rapporto delle masse è lo stesso del rapporto delle forze che imprimerebbero a queste masse una medesima velocità nello stesso tempo, e con ciò potrebbonsi ancora determinare le densità.

Abbiamo precedentemente veduto (35) che la massa di un corpo è eguale al rapporto costante della forza che lo sollecita all'incremento di velocità che essa gli imprime; quindi, se si rappresenta con P il peso di un corpo, cioè la forza che tende a farlo cadere, con g l'incremento di velocità che la gravità gli imprime, incremento che può essere preso per intensità di questa forza, finalmente con M la massa del corpo, si ha $\frac{P}{g} = M$, d'onde $P = gM$.

Questa formola mostra che il peso di un corpo è proporzionale alla sua massa ed all'intensità della gravità. Sostituendo ad M il suo valore VD (40), si ha $P = VDg$. Per un altro corpo il peso, la densità ed il volume del quale fossero P', V' e D', si avrebbe parimenti $P' = V'D'g$. Per $D = D'$, si ha $\frac{P}{P'} = \frac{V}{V'}$ (1); e per $P = P'$ si ha $VD = V'D'$, d'onde $\frac{V}{V'} = \frac{D'}{D}$ (2). Dall'eguaglianza (1) si conclude, che a densità eguale i pesi sono proporzionali ai volumi; e dall'eguaglianza (2) che a peso eguale i volumi sono in ragione inversa delle densità.

Più innanzi esporremo i processi per mezzo dei quali si determinano i pesi specifici dei solidi e dei liquidi. I

pesi specifici dei gas si stabiliscono relativamente all'aria, e la loro determinazione esige delle nozioni sul calorico che dovremo dare in seguito.

42. **Centro di gravità e modo di determinarlo sperimentalmente.** — Il *centro di gravità* di un corpo è un punto pel quale passa costantemente la risultante delle azioni della gravità sulle molecole di queste corpo in tutte le posizioni che esso può prendere.

Ogni corpo ha un unico centro di gravità. Di fatti, si consideri una massa qualunque (fig. 8) della quale m, m', m'', m''',... rappresentino varie molecole. Siccome tutte

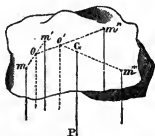
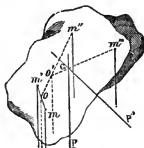



Fig. 8. *Fig. 9.*

queste molecole sono sollecitate dalla gravità in direzione verticale, ne risulta un sistema di forze parallele, la cui risultante si ottiene cercando dapprima quella delle forze che sollecitano due molecole quali si vogliano m ed m' (27), indi la risultante della forza così ottenuta e di quella che agisce sopra una terza molecola m'', e così successivamente fino ad ottenere una risultante finale P applicata in G e che rappresenta il peso del corpo. Ora, se si colloca il corpo in un'altra posizione, come mostra la figura 9, siccome ciascuna delle molecole m, m', m''... è ancora assoggettata alla stessa forza che la sollecitava nella posizione precedente, la risultante delle forze applicate ad m ed m' passerà nuovamente per o, la risultante successiva per o', e così consecutivamente fino alla risultante P, la quale deve passare ancora per G ed ivi incontrare la direzione GP' della stessa risultante nella prima posizione. E poichè in tutte le posizioni che si possono dare al corpo la direzione del peso passa sempre per il punto G, questo è il centro di gravità.

La ricerca del centro di gravità di un corpo qualunque

spetta alla geometria; ma in parecchi casi questo punto può essere determinato immediatamente. Per esempio, il centro di gravità di una linea retta omogenea è il suo punto di mezzo; quello di un circolo o di una sfera è il centro di figura; quello di un cilindro è il punto di mezzo dell'asse. Coi principii della statica, si dimostra che il centro di gravità di un triangolo si trova nella retta che congiunge uno dei vertici col punto di mezzo del lato opposto, ed a capo di due terzi di questa retta, partendo dal vertice; e che nelle piramidi e nei coni è situato nella retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base ed in capo ai tre quarti di questa retta, partendo dal vertice.

In parecchi casi, il centro di gravità si può determinare coll'esperienza. A quest'uopo, si sospende il corpo ad un cordoncino successivamente in due posizioni differenti, come mostrano le figure 10 e 11, poi si cerca il punto in cui il cordoncino CD nella sua seconda posizione incontra la direzione AB che aveva nella prima; questo punto è il centro di gravità cercato. Di fatti, siccome in ciascuna posizione l'equilibrio non può stabilirsi se non quando il centro di gravità va a collocarsi inferiormente

Fig. 10

Fig. 11.

al punto di sospensione del cordoncino e sulla sua direzione (43), così ne risulta che il centro di gravità deve essere situato nelle due direzioni del cordoncino, e per conseguenza nel loro punto d' incontro.

Se il corpo conserva costantemente la sua forma e la sua omogeneità, il centro di gravità rimane sempre nello stesso punto; in caso diverso esso cangia di posizione.

Negli animali, per esempio, la posizione del centro di gravità varia secondo gli atteggiamenti.

43. **Equilibrio dei corpi pesanti.** — Siccome l'azione della gravità si riduce ad una forza unica, verticale, diretta dall'alto al basso e applicata al centro di gravità, così, perchè abbia luogo l'equilibrio, basta che questa forza sia distrutta dalla resistenza di un punto fisso pel quale passi la sua direzione.

Si presentano qui due casi, secondo che il corpo pesante è sostenuto da un solo punto d'appoggio o da parecchi. Nel primo caso, il centro di gravità deve coincidere col punto d'appoggio, o trovarsi nella verticale che passa per questo punto. Nel secondo, basta che la verticale condotta dal centro di gravità passi nell'interno della *base*, cioè del poligono che si ottiene congiungendo fra loro i punti d'appoggio.

Nelle torri di Pisa e di Bologna, le quali sono siffattamente inclinate all'orizzonte che sembrano minacciare della loro caduta i passaggeri, l'equilibrio sussiste, perchè il centro di gravità si trova in una verticale che passa entro la base.

Un uomo è tanto più fermo sui piedi quanto più ampia è la base che questi presentano; perchè può allora dare ai suoi movimenti maggiore estensione, senza che la verticale condotta dal suo centro di gravità cada fuori di questa base. Se si appoggia su di un sol piede, la base diminuisce; diminuisce ancor più se si sorregge sulla punta del piede. In questa posizione, una debolissima oscillazione basta perchè la verticale condotta pel centro di gravità non incontri più la base e l'equilibrio sia tolto.

44. **Diversi stati d'equilibrio.** — A seconda della diversa posizione del centro di gravità relativamente al punto di appoggio, si danno tre modi d'equilibrio: l'*equilibrio stabile*, l'*instabile* e l'*indifferente*.

Un corpo è nella posizione di *equilibrio stabile* quando, deviato dalla sua posizione primitiva, vi ritorna da sè stesso tosto che non vi si opponga alcun ostacolo. Questo equilibrio si ha quando un corpo è in tale posizione che il suo centro di gravità si trovi più basso che in ogni altra posizione. In tale condizione, se il corpo viene spostato, il suo centro di gravità sempre si rialza; e la gravità, tendendo continuamente ad abbassarlo, dopo una serie di oscillazioni, lo riconduce quindi alla sua posizione pri-

mitiva, e l'equilibrio si ristabilisce. Tale è il caso del pendolo di un orologio e quello di un uovo posto su di un piano orizzontale col suo asse maggiore parallelo a questo piano.

Per dare un esempio di equilibrio stabile, si costruiscono delle figurine di avorio (fig. 12) che si fanno stare ritte su di un piede, caricandole di due palle di piombo collocate sì basso che, in tutte le posizioni, il centro di gravità si trovi al di sotto del punto d'appoggio.

Fig. 12. ($a = 21$.)

L'*equilibrio instabile* è quello di un corpo il quale, deviato da questa sua posizione d'equilibrio, tende ad allontanarsene maggiormente. Questo stato si presenta quando un corpo è situato in modo che il suo centro di gravità si trovi più in alto che in ogni altra posizione; perchè, se il centro di gravità viene abbassato per uno spostamento qualunque, la gravità tende a farlo discendere sempre più. Tale è il caso di un uovo appoggiato su di un piano orizzontale, in modo che il suo asse maggiore sia verticale, e quello di un bastone che si fa stare in equilibrio ritto sopra un dito.

Finalmente, si chiama *equilibrio indifferente* quello che persiste in tutte le posizioni che un corpo può prendere. Si ha questo genere di equilibrio quando, nelle diverse posizioni del corpo, il suo centro di gravità non è nè rialzato nè abbassato, come succede di una ruota di carrozza sostenuta dal proprio asse, o di una sfera che stia sopra un piano orizzontale.

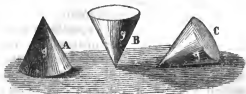



Fig. 13.

La figura 13 rappresenta tre coni A, B, C collocati nelle posizioni di equilibrio stabile, instabile e indifferente. In

ciascun cono la lettera *g* segna la posizione del centro di gravità.

45. **Leva**. — Alla teoria delle bilancie faremo precedere un'altra teoria spettante allo studio della meccanica, quella della leva, senza la quale non si può bene intendere ciò che si riferisce alle bilancie.

Si dà il nome di *leva* a qualsiasi asta AB (fig. 14) diritta o curva, che si appoggia su di un punto fisso *c*

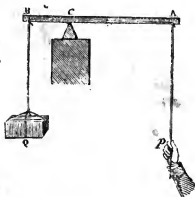



Fig. 14. *Fig.* 15.

intorno al quale è sollecitata a girare in direzioni contrarie da due forze parallele o concorrenti. Una di queste forze, la quale agisce come motore, chiamasi *potenza;* all'altra si dà il nome di *resistenza.* Avendo riguardo alla posizione del punto d'appoggio relativamente ai punti di applicazione della potenza e della resistenza, si distinguono tre generi di leve: 1.° la *leva di primo genere,* quando il punto d'appoggio è situato tra i punti di applicazione della potenza e della resistenza; 2.° la *leva di secondo genere,* quando la resistenza è tra il punto d'appoggio e la potenza; 3.° la *leva di terzo genere*, quando la potenza si trova fra il punto d'appoggio e la resistenza.

Nei tre generi di leve, le distanze rispettive della direzione della potenza e della resistenza dal punto d'appoggio chiamansi *braccia di leva.* Se la leva è diritta e perpendicolare alle direzioni di queste due forze, come nella figura 14, le due porzioni A*c* e B*c* della leva sono esse stesse le braccia di leva; ma se la leva è inclinata relativamente alla direzione delle forze (fig. 15), le braccia di leva sono le perpendicolari *ca* e *cb* condotte dal punto fisso su queste direzioni.

Ora, si dimostra in meccanica che una forza la quale tende a far rotare una leva intorno al suo punto di appoggio, produce un effetto tanto maggiore quanto più lontana è la sua direzione da questo punto di appoggio, o, ciò che è lo stesso, quanto più lungo è il braccio di leva sul quale essa agisce. D'onde risulta che una potenza ed una resistenza, aventi la stessa intensità ed agenti su braccia di leva eguali, producono lo stesso effetto, ma in direzione contraria, e quindi si fanno equilibrio; e che quando una potenza ed una resistenza di eguale intensità agiscono sopra braccia di leva disuguali, quando, per esempio, il braccio di leva della potenza sia doppio o triplo di quello della resistenza, sussiste l'equilibrio solamente allorchè la potenza sia la metà od un terzo della resistenza; il che si esprime dicendo che *le intensità di due forze che voglionsi equilibrare, mediante una leva, devono essere in ragione inversa delle braccia di leva a cui sono applicate.*

Date queste nozioni, passiamo alla teoria delle bilancie.

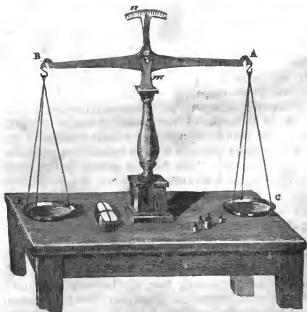



Fig. 16.

46. **Bilancie.** — Chiamansi *bilancie* gli apparati che servono a misurare il peso relativo dei corpi. Se ne costruiscono di parecchie sorta.

La bilancia ordinaria (fig. 16) consiste in una leva di di primo genere, chiamata *giogo*, il cui punto d'appoggio è nel mezzo; alle due estremità del giogo sono sospesi dei *bacini*, detti anche *piatti o gusci*, sostenuti da cordoni o da catenelle e destinati a ricevere, l'uno gli oggetti che vogliońsi pesare, l'altro i pesi. Il giogo, nel suo mezzo, è attraversato da un prisma di acciajo *a*, che si chiama *coltello* e che, a diminuzione d'attrito, riposa, con un tagliente acuto, sopra un sostegno d'agata o di acciajo levigato. Finalmente, al giogo è fissato un indice che oscilla davanti ad un arco graduato *n*: quando il giogo è orizzontale, l'indice corrisponde allo zero della graduazione.

Conosciuti questi particolari, rimane ancora da cercare le condizioni alle quali deve soddisfare una bilancia: 1.° per essere *precisa*, ossia per dare pesate esatte; 2.° per essere *sensibile*, cioè per oscillare sotto l'influenza di una piccolissima differenza di pesi nei due gusci.

47. **Condizioni di precisione.** 1.° *Le due braccia del giogo devono essere rigorosamente eguali*, altrimenti, secondo la teoria della leva, bisognerebbe che i bacini, per farsi equilibrio, avessero pesi disuguali. Per conoscere se le braccia del giogo sono eguali, si mettono dei pesi nei due bacini in modo che il giogo prenda una posizione orrizzontale. Scambiando quindi i pesi nei due bacini, il giogo rimarrà orizzontale se le braccia sono eguali, perchè allora sono eguali ambo i pesi, altrimenti si inclinerà dalla parte del braccio più lungo. 2.° *Il centro di gravità del giogo deve trovarsi sulla perpendicolare alla sua lunghezza condotta dallo spigolo del coltello, e al disotto di questo spigolo* altrimenti il giogo non potrebbe trovarsi in equilibrio stabile (44). Di fatti, se il centro di gravità fosse situato sullo spigolo del coltello, la bilancia si troverebbe allo stato di equilibrio indifferente in tutte le posizioni del giogo, e non oscillerebbe. Se si trovasse di sopra, non potrebbe prendere che uno stato di equilibrio instabile ed allora la bilancia si direbbe *folle*. Finalmente, quando il centro di gravità si trova sotto lo spigolo del coltello, sulla perpendicolare condotta da questo spigolo alla lunghezza del giogo, ed i gusci siano vuoti o caricati di pesi eguali, il giogo tende sempre a collocarsi orizzontalmente in una posizione di equilibrio stabile (fig. 17), perocchè il centro di gravità si trova nello stesso piano verticale dei punti d'appoggio.

Quando siavi eccesso di peso in uno dei gusci, il giogo

si inchina (fig. 18), ed il suo centro di gravità si trova allora innalzato da g a g' finchè il peso del giogo faccia equilibrio all'eccesso del peso Q, e questa condizione arriverà sempre a realizzarsi. Infatti, siccome il bracio di leva oi, all'estremità del quale è applicato il peso p, cresce colla

Fig. 17.

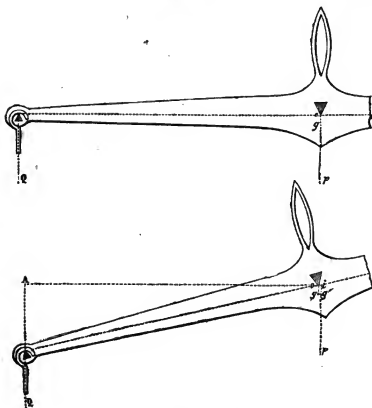



Fig. 18.

inclinazione del giogo, mentre il braccio di leva Ao diminuisce, i momenti $p + oi$ e $Q + Ao$ finiranno necessariamente coll'essere eguali (45). Quindi si vede che le due condizioni sopraccennate essendo soddisfatte, la posizione orizzontale del giogo indicherà l'eguaglianza dei pesi collocati nei due gusci.

48. **Condizioni di sensibilità.** — *Il centro di gravità del giogo, rimanendo pur sempre al disotto del coltello*

deve essere assai vicino al suo spigolo. Infatti, più questo punto ne sarà avvicinato, tanto più il braccio di leva *oi* (fig. 18) sarà piccolo e tanto più il momento Q $\times$ *Ao* supererà il momento $p \times oi$; quindi tanto più il giogo si inclinerà anche per un piccolissimo eccesso di peso come sarebbe, a cagione d'esempio, un milligrammo.

2.° *La bilancia è tanto più sensibile quanto più debole è lo strofinamento del coltello sopra i suoi punti d'appoggio;* ed è appunto a questo scopo che si fa appoggiare il coltello sopra due pezzi ben levigati d'agata o di acciaio temperato.

3.° *La sensibilità è tanto più grande quanto più leggero è il giogo e minore il carico dei piatti,* essendo allora minore l'attrito.

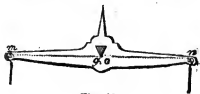
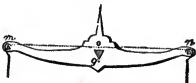
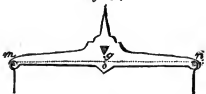
4.° *La sensibilità cresce colla lunghezza del braccio del giogo,* perchè allora l'eccesso del peso Q agisce su di un braccio di leva più grande.

5.° Finalmente, *lo spigolo del coltello e gli assi di sospensione dei gusci devono trovarsi in uno stesso piano, cioè in linea retta,* come mostra la figura 21. Di fatti, supponiamo che la linea *mn*, la quale congiunge gli assi di sospensione dei due gusci, passi sotto il coltello (figura 19). Se si rappresenta con P il peso posto in uno dei piatti e con P + Q il peso collocato nell'altro, essendo eguali i due pesi P, la loro risultante 2 P è applicata in *o* alla metà di *mn* (27); ora, quando il giogo si inclina, questa risultante si aggiunge evidentemente al suo peso per opporsi alle sue oscillazioni; e ciò tanto maggiormente quanto più il punto *o* è posto al di sotto del coltello.

Fig. 19.

Fig. 20.

Fig. 21.

Se la linea *mn* passa sopra lo spigolo del coltello (fig. 20), la risultante 2 P applicata in *o*, vincendo in generale il peso del giogo applicato in *g*, la bilancia tende a diventar *folle*.

Finalmente, quando i tre punti *m*, *o*, *n* sono in linea retta (fig. 21), la risultante 2 P applicata in *o*, sullo spigolo del coltello, trovasi distrutta dalla resistenza dei punti di appoggio, e, fatta astrazione dagli attriti, la sensibilità della bilancia è indipendente dai pesi P collocati nei due piatti.

Nondimeno allorchè questi due pesi sorpassino un certo limite, il giogo si curva ed abbassandosi i due punti *g* ed *o* la sensibilità decresce.

49. **Bilancia di precisione**. — La bilancia rappresentata dalla figura 16, è quella che si adopera nel commercio, e per gli usi ai quali viene destinata offre una sufficiente esattezza; ma nella fisica, e specialmente nella chimica, per le analisi, vogliono essere adoperate bilancie più squisite.

La figura 22 rappresenta una bilancia di precisione sensibile al peso di un milligrammo, anche quando i due piatti si trovino caricati di un chilogrammo.

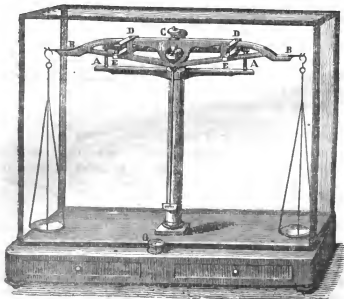



Fig. 22

Si copre con una cassa di vetro questa bilancia per difenderla dalle agitazioni dell'aria e preservarla dalla polvere e dall'umidità. La faccia anteriore della cassa può scorrere entro scanalature fatte nelle faccie laterali, e

viene innalzata alquanto per introdurre gli oggetti che si vogliono pesare.

Per non caricare inutilmente il tagliente del coltello, quando la bilancia non funziona, si solleva il giogo mediante un pezzo mobile, che si chiama *forchetta.* Per farne intendere il meccanismo, cominciamo col notare che il pezzo AA è fisso al pari delle due aste verticali che si trovano alle sue estremità. I due pezzi DD sono congiunti col giogo e destinati a ricevere la pressione della forchetta. Quest'ultima consiste in una sbarra *aa* alla quale sono fissate due traverse orizzontali EE, che si innalzano colla forchetta e vanno a sollevare i due pezzi DD e con essi il giogo. La forchetta è guidata nel suo movimento dalle aste AA che la attraversano, a sfregamento dolce, alle sue estremità. La forchetta si può alzare od abbassare per mezzo di un bottone O, che si fa girare colla mano e che trasmette il suo movimento ad una vite situata nell'interno del piede. Girando opportunamente questa vite, la forchetta solleva i due pezzi EE ed insieme il giogo BB.

Si giudica della posizione orizzontale del giogo per mezzo di un lungo indice, il cui estremo superiore è fissato al giogo stesso e l'inferiore corrisponde ad un arco di cerchio graduato che è posto al piede della bilancia. Finalmente, un bottone a vite C, posto sul giogo, serve ad aumentare la sensibilità della bilancia; facendo innalzare questa vite, si solleva il centro di gravità e perciò, come più sopra vedemmo (48), si rende più sensibile la bilancia.

50. **Bilancia a sospensione inferiore.** — Nelle bilancie più sopra descritte i punti di sospensione si trovano al di sopra dei piatti. Ora, già da qualche anno si fabbricano e vanno sempre più diffondendosi nel commercio delle bilancie i cui punti di sospensione sono al di sotto. Queste bilancie (fig. 23) hanno una forma graziosa; esse non ingombrano i banchi come le bilancie a colonna e sono comode, specialmente per pesare oggetti voluminosi, lo che non si può fare agevolmente colle bilancie ordinarie, a motivo delle catene o dei cordoni che sostengono i piatti. Tuttavia le bilancie a sospensione inferiore non sono bilancie di precisione, perchè hanno un soverchio attrito, ma possono dare delle pesate abbastanza esatte pel commercio; di fatti l'errore non è che di qualche centigrammo.

Le prime bilancie a sospensione inferiore ebbero il nome

di *bilancie inglesi* o di bilancie di Roberval, perchè erano, di fatti, una applicazione di un principio sulle leve dato

Fig. 23.

da questo geometra, professore di matematica a Parigi nel secolo XVII. La bilancia, che ora descriveremo (fig. 23 e 24), è una combinazione della bilancia di Roberval e di quella di Quintenz, e costruita da Béranger, fabbricatore a Lione. Il costruttore ebbe di mira: 1.° che il movimento dei piatti si compia esattamente in linea retta; 2.° che lo stato di equilibrio della bilancia sia indipendente dalla posizione del carico nei piatti; condizione che che esiste teoricamente nella bilancia di Roberval, ma che, a motivo degli attriti, non si verifica rigorosamente nella pratica.

Il meccanismo adottato da Béranger si compone, per ciascun piatto, di due bacini e di tre leve AB, DE e DC (fig. 24). La leva DC, che porta il bacino P, si abbassa o si rialza simultaneamente di quantità eguali ai suoi due

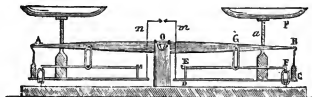



Fig. 24.

capi, quando l'estremità B discende o si innalza, come è facile intendere osservando la figura. Questa leva DC si muove quindi parallelamente a sè stessa, e l'asta *a* si abbassa o si innalza in direzione esattamente verticale. La

posizione della carica dei piatti non ha la stessa influenza che nella bilancia di Roberval, in conseguenza della combinazione delle tre leve. Nonpertanto, in qualsiasi bilancia, si deve di preferenza collocare il carico nel mezzo dei piatti. Due aste piegate *m* ed *n*, fissate alla leva orizzontale DC, salgono e discendono con essa e si collocano l'una rimpetto all'altra quando la bilancia è in equilibrio.

51. **Metodo delle doppie pesate.** — Devesi a Borda fisico francese, morto a Parigi nel 1799, un processo col quale si possono determinare esattamente i pesi anche per mezzo di una bilancia a braccia disuguali. A questo intento si colloca il corpo di cui vuolsi conoscere il peso sopra uno dei piatti, e lo si equilibra con pallini di piombo o con sabbia posta sull'altro piatto; indi si toglie dal primo piatto il corpo da pesarsi e gli si sostituiscono dei grammi e delle suddivisioni di grammo fino a che sia ristabilito l'equilibrio. Il peso ottenuto è precisamente quello del corpo; perchè in questa doppia pesata il corpo ed i grammi, agendo l'uno dopo l'altro sullo stesso braccio del giogo, hanno fatto equilibrio alla medesima resistenza.

Si può del pari determinare con precisione il peso di un corpo col metodo seguente, il quale consiste nel pesare due volte questo corpo, collocandolo successivamente in ciascuno dei due piatti, ciò che corrisponde ancora ad una doppia pesata; poi a dedurre col calcolo il peso cercato dai due risultati ottenuti.

Di fatti, avendo posto sopra uno dei due piatti il corpo che vuolsi pesare, e sull'altro quanti grammi abbisognano per stabilir l'equilibrio, siano x il peso cercato, p il numero dei grammi che gli fanno equilibrio, ed a e b le lunghezze dei bracci di leva corrispondenti rispettivamente ai pesi x e p Giusta il principio d'equilibrio della leva più sopra esposto (45), si ha $\frac{x}{p}=\frac{b}{a}$, o $ax = bp$ (1). Parimenti se si rappresenta con p' il numero dei grammi che fanno equilibrio al corpo dopo che fu posto sull'altro piatto, si ha $bx = ap'$ (2). Moltiplicando membro per membro le uguaglianze (1) e (2), e sopprimendo il fattore comune ab, si ha

$$x^2 = pp', \text{ d'onde } x = \sqrt{pp'}.$$

Ciò dimostra che il peso cercato è medio proporzionale fra i due pesi p e p'.

Siccome le due braccia di una bilancia non sono per-

fettamente uguali, bisogna sempre, nelle pesate di precisione, usare uno dei due metodi più sopra indicati. Però, per ottenere rigorosamente il peso di un corpo, questo mezzo non basta. Di fatti, come vedremo bentosto (159), ogni corpo pesato nell'aria perde una parte del proprio peso eguale al peso dell'aria che sposta; quindi ne risulta che il peso ottenuto dalla bilancia non è che un peso apparente, minore del peso reale.

Più tardi poi vedremo (324), dopo di avere trattato delle dilatazioni e dei vapori, come si possa, per mezzo del calcolo, dedurre il peso reale dal peso apparente.

CAPITOLO III.

LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI, INTENSITA' DELLA GRAVITA', PENDOLO.

52. **Leggi della caduta dei corpi.** — Trascurando la resistenza dell'aria, cioè supponendo che i corpi cadano nel vuoto, si trovano le tre leggi seguenti:

1.ª Legge. — *Tutti i corpi cadono nel vuoto colla stessa celerità.* Questa legge si dimostra coll'esperimento, per mezzo di un tubo di vetro lungo circa due metri, chiuso ad una delle sue estremità e terminato all'altra da una chiavetta di ottone. Vi si introducono corpi di densità, differenti per es. piombo, sughero, carta; indi si fa il vuoto colla macchina pneumatica. Capovolgendo poscia rapidamente il tubo, vedesi che tutti i corpi che vi furono introdotti cadono colla stessa celerità (fig. 27). Ma se, dopo di aver fatto rientrare un po' d'aria, si rovescia di nuovo il tubo, si osserva una diminuzione di celerità nei corpi più leggeri. Finalmente, questa diminuzione diventa sensibilissima quando siasi lasciata rientrare tutta l'aria. D'onde si conchiude che la celerità diversa colla quale i corpi cadono nelle condizioni ordinarie proviene unicamente dalla resistenza dell'aria, e non da una varia intensità di azione della gravità sulle differenti sostanze. Un corpo che ha una massa doppia di un altro è bensì attratto verso la terra da una forza doppia; ma questa forza doppia, dovendo mettere in movimento una quantità di materia doppia, siccome abbiamo enunciato (35), può darle soltanto lo stesso grado di velocità che riceve l'altro corpo.

La resistenza che l'aria oppone alla caduta dei corpi è

sensibile in modo particolare nei liquidi, i quali nell'aria si dividono e cadono in gocce, mentre nel vuoto cadono senza dividersi a guisa di una massa solida. Questo fenomeno si dimostra col *martello d'acqua*. Chiamasi così un tubo di vetro alquanto grosso, di 30 a 40 centimetri di lunghezza, per metà pieno d'acqua e chiuso colla lampada dopo che ne è stata espulsa l'aria per mezzo della ebollizione. Quando si capovolge rapidamente questo tubo, l'acqua, cadendo, va all'estremità inferiore e produce un suono secco, come risulterebbe dall'urto di due corpi solidi.

2.ª Legge. — *Gli spazi percorsi da un corpo che cade nel vuoto sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.* In altre parole, gli spazi percorsi in tempi rappresentati da 1, 2, 3, 4,... sono rispettivamente rappresentati da 1, 4, 9, 16....

3.ª Legge. — *La velocità acquistata da un corpo che cade nel vuoto è proporzionale alla durata della caduta.* Cioè, alla fine di un tempo due, tre, quattro volte maggiore, la velocità acquistata è parimente due, tre, quattro volte più grande.

Conseguenza. — Siccome per la seconda legge, supposto 1 lo spazio percorso nel primo minuto secondo, gli spazi percorsi in 2, 3, 4, 5,... minuti secondi sono 4, 9, 16, 25,... ne segue che lo spazio percorso nel secondo minuto è 4 — 1, ossia 3; quello percorso nel terzo è 9 — 4, ossia 5; nel quarto 16 — 9, ovvero 7, e così di seguito; cioè che gli spazi percorsi successivamente nel primo, nel secondo, nel terzo, nel quarto.... minuto secondo, stanno fra loro come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7....

Però, la caduta dei corpi segue queste leggi soltanto nel vuoto e quando le altezze siano poco considerabili. Nell'aria, le leggi della caduta sono modificate dalla resistenza che i corpi incontrano; inoltre vedremo più innanzi che ad altezze ineguali nell'atmosfera l'intensità della gravità non è rigorosamente la stessa.

Fig. 25

Fu Galileo che, alla fine del secolo XVI, scoperse le leggi della gravità e le fece conoscere nelle sue lezioni all'Università di Pisa, ove insegnava le matematiche.

53. **Piano inclinato.** — Furono immaginati molti apparecchi per dimostrare le leggi della caduta dei corpi, tra i quali principalmente il *piano inclinato*, la *macchina d'Atwood* e l'*apparato a cilindro girante* di Morin. Nei due primi il moto è abbastanza lento perchè si possa trascurare la resistenza dell'aria.

Si chiama *piano inclinato* qualsiasi piano che non sia orizzontale e faccia un angolo minore di un retto con un piano orizzontale. Quanto più acuto è quest'angolo, tanto minore è la velocità di un corpo che discende lungo il piano inclinato. Di fatti, rappresentiamo con AB (fig. 26) un piano inclinato, con AC un piano orizzontale, e con BC la perpendicolare abbassata da un punto B del piano inclinato sul piano orizzontale. Il peso P di un corpo qualsivoglia M, che si appoggia sul piano inclinato, potrà essere decomposto in due forze Q e F, l'una perpendicolare, l'altra parallela al piano inclinato. La prima sarà distrutta dalla resistenza del piano, e la sola forza F agirà sulla massa M per farla discendere. Per valutare F, si porta sopra GP una lunghezza GH che rappresenti il peso P, e si compie il parallelogrammo DGEH (29); e così risulta F rappresentata da DG. Ora, i triangoli DGH e ABC, avendo gli angoli eguali, sono simili, per cui si ha

Fig. 26

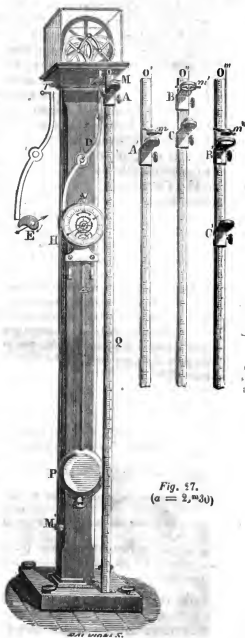
$$\frac{DG}{GH} = \frac{BC}{AB} \text{ ossia, } \frac{F}{P} = \frac{BC}{AB}.$$

Da quest'ultima proporzione si deduce che la forza F è tanto più piccola relativamente a P quanto minore è l'*altezza* BC del piano inclinato relativamente alla *lunghezza* AB. Quindi si può impiccolire quanto si voglia la forza F e rallentare il moto del mobile M in modo da poter misurare, sul piano inclinato, gli spazi percorsi in uno, due, tre... secondi, e ciò senza che le leggi del moto siano cambiate, poichè la forza F è continua e costante come la P. Galileo, operando in questa maniera, scoperse che gli spazi percorsi crescono come i quadrati dei tempi.

54. **Macchina di Atwood.** — Le leggi della caduta dei corpi si dimostrano anche colla *macchina di Awood*, così chiamata dal suo inventore, che era professore di chimica a Cambridge, alla fine del secolo scorso. Questa macchina risulta di una colonna di legno (fig. 27) alta circa 2m, 30. Alla sua sommità evvi una cassa di vetro sotto la quale trovasi una carrucola B di ottone, su cui si avvolge un filo di seta sottile in modo che il suo peso sia trascurabile, ed alle cui estremità sono attaccati

due pesi eguali M ed M'. L'asse della carrucola non appoggia sopra due cuscinetti fissi, ma sulle periferie incrociate di quattro ruote mobili. Con questa disposizione, l'asse della carrucola trasmette il suo moto alle quattro ruote e così, invece di un attrito radente, si produce un attrito volvente che è vinto con molto minore dispendio di forza.

Fig. 27.
($a = 2,^m30$)

Sulla colonna è fissato un movimento d'orologio H, regolato da un pendolo a secondi P, per mezzo di uno scappamento ad àncora (figura 31, pag. 52). Quest'ultimo si vede rappresentato nella figura superiormente alla ruota d'incontro e concentrico ad essa. Lo scappamento oscilla col pendolo e, inclinando ora a destra ora a sinistra, lascia passare ad ogni oscillazione un dente della ruota d'incontro. L'asse di questa ruota porta all'estremità anteriore un indice che segna i secondi, ed all'estremità posteriore, dietro la mostra, un eccentrico

il quale è rappresentato in E, alla sinistra della colonna. Questo eccentrico, il quale gira contemporaneamente all'indice, preme su di una leva D, e, deviandola, fa cadere una piastra I, che era appoggiata su questa leva e serviva a sostenere la massa M'. Infine, parallelamente alla colonna, avvi un'asta di legno divisa in centimetri e destinata a misurare gli spazi percorsi dal corpo che cade. Sopra quest'asta si trovano due corsoi A e B, i quali per mezzo di viti di pressione si possono fissare all'altezza che si vuole. Questi corsoi sono rappresentati in differenti posizioni a destra della macchina in A, A', B e C, B' e C'. Uno di questi corsoi è terminato superiormente da un disco e serve a fermare la massa M; l'altro, che è annulare, si lascia attraversare da questa massa e serve soltanto a trattenere un peso addizionale m, che si colloca su di essa.

La macchina di Atwood è specialmente destinata a rallentare la velocità della caduta e a far succedere, a piacimento, un moto uniforme ad un moto accelerato.

Per intendere come questa macchina possa rallentare il moto, supponiamo che una piccola piastra di ottone m, rappresentata nella nostra figura, in m, in m' ed in m'', cada da sola, e denominiamo m la sua massa, g la sua velocità dopo un secondo; onde la sua quantità di moto sarà mg (35). Se si colloca questa piastra m sulla massa M', non potrà cadere se non comunicando una parte della sua velocità alle due masse M' ed M. Di fatti, siccome le due masse M ed M' si fanno equilibrio, così la gravità non produce su di esse alcun effetto. Per conseguenza, la medesima forza che faceva cadere la massa m quando era sola, ora deve muovere questa massa e le due masse M ed M'. La quantità di moto è però nei due casi la stessa (35). Ora, indicando con x la velocità alla fine d'un minuto secondo, la quantità di moto sarà $(m + 2M)\,x$; eguagliandola a quella che acquista la massa m quando cade da sola, si ha $(m + 2M)\,x = gm$, d'onde $x = \frac{mg}{m + 2M}$. Supponendo, per esempio, che ciascuna delle masse M ed M' sia 16 e che la massa m sia 1, si trova $x = \frac{g}{33}$; cioè che la velocità è $\frac{1}{33}$ di quella che sarebbe se il corpo cadesse liberamente nell'atmosfera. Ciò che basta perchè sia possibile seguire il corpo nella sua caduta e ridurre la resistenza dell'aria ad essere appena sensibile.

Essendo conosciuti i diversi pezzi della macchina, passiamo a descrivere gli esperimenti e supponiamo che si tratti dapprima di dimostrare che gli spazi percorsi cre-

scono come i quadrati dei tempi. A questo effetto, mentre il pendolo P è fermo e l'indice della mostra fuori dello zero, si colloca il peso addizionale *m* sulla massa M e si dispone quest'ultima, così caricata, sul piatto I, il quale è tenuto in posizione orizzontale all'altezza dello zero della scala mediante l'estremità della leva D. Allora, togliendo il corsoio annulare B, si lascia soltanto il corsoio A; si fa salire quest'ultimo finchè dopo vari tentativi si giunga a porlo ad una distanza tale dal punto I, che le masse *m* ed M impieghino un minuto secondo a cadere sino a questo corsoio. La caduta incomincia all'istante in cui l'indice arriva allo zero della mostra dopo che si è fatto oscillare il pendolo, perchè allora la leva D è respinta dall'eccentrico ed il piatto I si rovescia.

Suppongasi d'avere trovato in questo modo che l'altezza della caduta in un secondo sia 7. Incominciando allora di nuovo l'esperimento nella stessa maniera, ma ponendo il corsoio ad una distanza quadrupla, cioè alla ventottesima divisione della scala, si osserva che questo spazio è percorso appunto in 2 secondi dalle due masse *m* ed M'. Si trova parimenti che un'altezza nove volte maggiore, cioè di 63 divisioni, è percorsa in 3 secondi, e così di seguito: in tal maniera si verifica la seconda legge.

Affine di verificare la terza, bisogna rammentare che nel moto accelerato si intende per velocità in un dato istante quella del moto uniforme che succede al moto accelerato (34). Per conseguenza, onde constatare la legge secondo la quale varia la velocità di un corpo che cade, basta misurare la velocità del moto uniforme che si può far susseguire al moto accelerato dopo uno, due, tre.... secondi di caduta col togliere la massa che accelerava il moto.

Per sostituire il moto uniforme al moto accelerato serve il corsoio annulare B. A questo intento si comincia col collocare questo corsojo ad una distanza tale che le due masse riunite *m* ed M' impieghino un minuto secondo a cadere fino in B come nel primo esperimento; allora la massa addizionale *m* viene trattenuta dal corsoio B e la massa M' continua a scendere da sola. Si colloca il corsoio A al di sotto di B a distanza opportuna affinchè la massa M' percorra in un secondo l'intervallo fra un corsoio e l'altro. Ora, tra I e B il moto è uniformemente accelerato, tra B ed A è uniforme; perchè, essendo fermato il piccolo peso *m* dal corsoio B, la gravità non agisce più

tra B ed A ed il moto continua soltanto per l'inerzia. Adunque il numero di divisioni della scala che la massa M' percorre da un corsoio all'altro rappresenta la velocità acquistata dalle due masse *m* ed M' alla fine di un secondo (34).

Cominciando allora di nuovo l'esperimento, si fa scendere il corsoio B a distanza conveniente affinchè le due masse M' ed *m* cadano in due secondi da I al corsoio annulare; poi si fissa il secondo corsoio a tale distanza dal primo che sia doppia di quella che li separava dapprima. Ora, dopo che le due masse sono cadute per due secondi con moto uniformemente accelerato dal punto I fino al primo corsoio, la massa M percorre da sola, in un secondo, l'intervallo che separa i due corsoi. Adunque la velocità acquistata dopo due secondi è doppia di quella acquistata dopo un secondo. Si verifica parimenti che dopo tre, quattro secondi questa velocità è tripla, quadrupla.

55. **Formole relative alla caduta dei corpi.** — La terza legge della caduta dei corpi (52) può essere rappresentata dalla formola $v = gt$ e la seconda dalla formola $s = \frac{1}{2} gt^2$. Di fatti, sia g la velocità acquistata, dopo un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto, e v la sua velocità dopo t secondi; essendo le velocità proporzionali ai tempi, si ha

$$g : v :: 1 : t, \text{ d'onde } v = gt \ (1).$$

Per dimostrare la formola $s = \frac{1}{2} gt^2$, osserviamo che un corpo il quale cada pel tempo di t minuti secondi con moto uniformemente accelerato, con una velocità iniziale nulla ed una velocità finale $v = gt$, percorre lo spazio medesimo che percorrerebbe cadendo, in tempo eguale, animato da un moto uniforme, con una velocità media fra le velocità o e gt, cioè colla velocità $\frac{1}{2} gt$. Ora, in quest'ultima ipotesi, il moto essendo uniforme, lo spazio percorso è eguale al prodotto della velocità per il tempo (32); rappresentando con s questo spazio, si ha dunque $s = \frac{1}{2} gt \times t$, ossia

$$s = \frac{1}{2} gt^2 \ (2).$$

Se, nella formola (2), si fa $t = 1$, risulta; $s = \frac{1}{2} g$; d'onde $g = 2s$. Cioè, *la velocità acquistata dopo l' unità di tempo è doppia dello spazio percorso nel medesimo tempo.*

Nella formola (1), la velocità v è espressa in funzione del tempo; ma si può anche esprimerla in funzione dello spazio percorso, eliminando t tra le equazioni (1) e (2). Per ciò, si deduce dalla prima $t = \frac{v}{g}$, d'onde $t^2 = \frac{v^2}{g^2}$. Ponendo questo valore di t^2 nella (2), si ha $s = \frac{1}{2} g \times \frac{v^2}{g^2}$ ovvero $s = \frac{v^2}{2g}$, sopprimendo il fattore comune g. Moltiplicando per $2g$ i due membri di questa eguaglianza, risulta $v^2 = 2gs$; estraendo la radice, si ha finalmente

$$v = \sqrt{2gs} \quad (3).$$

Da quest' ultima formola si deduce che *quando un corpo cade nel vuoto, la velocità acquistata in un dato tempo è proporzionale alla radice quadrata dello spazio percorso.*

Le formole $v = gt$ e $s = \frac{1}{2} gt^2$, siccome sono state ottenute risguardando la gravità come una forza acceleratrice costante e, per conseguenza, nel caso in cui il moto è uniformemente accelerato, si possono considerare come le formole generali di questo genere di moto. Però, essendo g l'incremento della velocità impressa in ciascun minuto secondo dalla forza acceleratrice, il valore di questa quantità g dipende dalla intensità della forza.

56. **Cause che modificano l'intensità della gravità**. — Tre cause fanno variare l'intensità della gravità: l'elevazione al di sopra del suolo, lo schiacciamento della terra e la forza centrifuga.

1.º Esercitandosi l'attrazione terrestre come se tutta la massa del globo fosse riunita al suo centro, ed agendo questa attrazione in ragione inversa del quadrato della distanza (37 e 38), ne risulta che l'intensità della gravità aumenta o diminuisce, secondo che i corpi si avvicinano o si allontanano dalla superficie del suolo. Tuttavia, questa variazione non è apparente nei fenomeni che si osservano alla superficie del nostro globo, poichè il suo raggio medio essendo di 6,367,400 metri, l'intensità della gravità rimane sensibilmente costante, quando il corpo si innalza o discende di qualche centinaio di metri. Ma per altezze di caduta più considerabili, la gravità non può più essere riguardata come costante. Importa quindi notare che le leggi della caduta dei corpi enunciate al § 52 non devono essere ammesse che pei corpi cadenti da piccole altezze.

2.º L'intensità della gravità è anche modificata dallo schiacciamento della terra ai due poli; perchè verso questi

punti, i corpi sono più vicini al centro dello sferoide terrestre e, per conseguenza, maggiormente attratti.

3.° La terza causa che modifica l'intensità della gravità è la *forza centrifuga*. Si chiama così una forza generata dal moto curvilineo, per la quale le masse che ruotano intorno ad un asse tendono ad allontanarsene. Si dimostra in meccanica che la forza centrifuga è proporzionale al quadrato della velocità; d'onde risulta che, in uno stesso meridiano, questa forza cresce sempre più verso l'equatore ove raggiunge il suo massimo, perchè ivi trovasi la massima velocità. Al polo la forza centrifuga è nulla.

Sotto l'equatore la forza centrifuga uguaglia 1/289 della intensità della gravità; ma, essendo 289 il quadrato di 17, se la rotazione del globo fosse 17 volte più rapida, la forza centrifuga all'equatore sarebbe uguale alla gravità.

Andando dall'equatore verso i poli, la gravità è gradatamente meno indebolita dall'effetto della forza centrifuga, e perchè quest'ultima forza decresce nel medesimo verso e perchè, sotto l'equatore, è direttamente opposta alla gravità; mentre, progredendo verso i poli, la sua direzione diventa sempre più inclinata alla verticale. Valga a dimostrarlo la fig. 28, nella quale PQ rappresenta l'asse della terra, EF l'equatore. In un punto qualunque A, la forza centrifuga essendo rappresentata dalla retta AB perpendicolare all'asse, si vede che la gravità, la quale agisce secondo il raggio DC, non è diminuita di una quantità rappresentata da AB, ma soltanto della componente AD diretta secondo CD, la quale è tanto minore quanto più il punto A trovasi vicino al polo.

Fig 28.

57. **Misura della intensità della gravità.** — Dietro quanto precede, la gravità, potendo essere riguardata, in un medesimo luogo e per altezze di caduta poco considerabili, siccome una forza acceleratrice costante, si prende per misura della sua intensità la velocità che essa imprime in un minuto secondo ai corpi cadenti nel vuoto (35), senza badare alla massa, poichè, nel vuoto, tutti i corpi cadono con eguale celerità (52).

Per convenzione, la intensità della gravità si rappresenta

per lo più colla lettera g. Il valore di g cresce dall'equatore al polo; a Parigi si trova che g è$=9^m,8088$ (*). Vedremo quanto prima come, in ogni luogo, si determini questo valore per mezzo del pendolo (62).

Le variazioni di intensità che subisce la gravità colla latitudine o coll'altezza modificano il peso assoluto dei corpi, ma non influiscono sul loro peso relativo, cioè su quello indicato dalla bilancia. Di fatti, siccome l'azione della gravità si esercita ugualmente su tutte le sostanze, così l'aumento o la diminuzione di peso che risulta dalle variazioni di questa forza sono eguali, in ciascun luogo, e per il corpo da pesare e per i pesi metrici od altri che si adoperino. In una parola, il numero dei grammi che rappresenta il peso di un corpo a Parigi lo rappresenta anche al polo o all'equatore; non varia che il peso del grammo, il quale aumenta o diminuisce proporzionalmente alla intensità della gravità.

58. **Pendolo.** — Si distinguono due sorta di pendoli: il pendolo semplice ed il pendolo composto. Il *pendolo semplice* o *pendolo ideale*, è quello che risulterebbe di un punto materiale pesante, sospeso per mezzo di un filo inestensibile e *privo di peso* ad un punto fisso intorno al quale potesse oscillare liberamente. È impossibile costruire un tal pendolo; esso è propriamente teorico, e non serve che a determinare per mezzo del calcolo le leggi delle oscillazioni del pendolo.

Si chiama *pendolo composto* ogni corpo che possa oscillare intorno ad un punto o ad un asse fisso. Quando il pendolo oscilla intorno ad un punto, questo prende il nome di *centro di sospensione;* quando oscilla intorno ad una retta orizzontale, questa retta chiamasi *asse di sospensione.* Il pendolo composto è il solo che si possa costruire; la sua forma può variare all'infinito. Però, in generale, questo pendolo consiste in una massa metallica lenticolare o sferica, sospesa ad un'asta mobile intorno ad un asse orizzontale; tali sono i bilancieri degli orologi, e tale è il pendolo P rappresentato nella fig. 27.

I pendoli composti sono sospesi o per mezzo d'un coltello analogo a quello delle bilance (fig. 16), o per mezzo di una lamina d'acciaio sottile e flessibile, che si incurva leggermente ad ogni oscillazione.

Per rendersi ragione del movimento oscillatorio del pendolo, si consideri dapprima un pendolo semplice cM (fig. 29) di cui M sia il punto materiale e c il centro di

(*) A Milano $g=9^m$ 8058. (*Nota dei Trad.*).

sospensione. Quando il punto M si trova al di sotto del punto c, nella verticale che passa per questo punto, l'azione della gravità è distrutta; ma se il punto M è trasportato in m, la gravità P si decompone in due forze, una diretta secondo il prolungamento mB del filo, l'altra secondo mD tangente all'arco mMn. La componente mB è distrutta dalla resistenza del punto c. mentre la componente mD sollecita il punto materiale a discendere da m verso M. Arrivato a quest'ultimo punto, il pendolo non si ferma, perchè in virtù della propria inerzia, è trascinato nella direzione Mn.

Fig. 29.

Ora, se si ripete la medesima costruzione in un punto qualunque dell'arco Mn. si riconosce che la gravità, la quale da m in M agisce come forza acceleratrice, opera da M in n come forza ritardatrice. Essa sottrae quindi successivamente al mobile la velocità acquistata durante la discesa; questa velocità diminuisce come prima cresceva da m verso M, di maniera che trovasi interamente distrutta quando il pendolo si è innalzato in n al di sopra della posizione M alla medesima altezza del punto m. Ritornando allora il pendolo da m verso M, si riproduce la stessa serie di fenomeni, ed il pendolo tende così ad oscillare perennemente, descrivendo archi eguali a destra ed a sinistra del punto M. Ma in fatto ciò non avviene, perchè due cause cospirano continuamente a rallentare il moto ed anche a distruggerlo, cioè la resistenza del mezzo in cui il pendolo si muove e l'attrito che si produce all'asse di sospensione.

59. Leggi delle oscillazioni del pendolo. — Chiamasi *oscillazione* il passaggio del pendolo da una posizione estrema m all'altra n. L'arco mn è l'*ampiezza* dell'oscillazione. Finalmente, la *lunghezza* del pendolo semplice è la distanza dal punto di sospensione c al punto materiale M.

Nella meccanica razionale si dimostra che le oscillazioni del pendolo semplice sono soggette alle quattro leggi seguenti:

1.ª *Per un medesimo pendolo, le piccole oscillazioni sono isocrone,* cioè si compiono sensibilmente in tempi eguali,

quando le ampiezze non sorpassano un certo limite, che è tutt'al più di due o tre gradi. Il calcolo insegna che la resistenza dell'aria fa aumentare la durata delle oscillazioni in conseguenza della perdita di peso che il pendolo subisce nell'aria (159), ma che l'insocronismo persiste tanto nell'aria come nel vuoto; siccome però l'ampiezza va mano mano diminuendo, il pendolo necessariamente si arresta.

Galileo, per il primo, constatò l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo. Si narra che egli, giovine ancora, facesse questa scoperta, osservando i movimenti di una lampada sospesa alla vôlta della cattedrale di Pisa.

2.ª *Per pendoli della medesima lunghezza, la durata delle oscillazioni è uguale, qualunque sia la sostanza della quale sono formati i pendoli;* cioè i pendoli semplici, il cui punto materiale fosse di sughero, di piombo, d'oro, eseguirebbero egual numero d'oscillazioni nel medesimo tempo, quando avessero una eguale lunghezza.

3.ª *Per pendoli di diversa lunghezza, la durata delle oscillazioni è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza;* cioè se la lunghezza di un pendolo diventasse 4, 9, 16... volte più grande, la durata delle oscillazioni riescirebbe soltanto, 2, 3, 4... volte maggiore.

4.ª *In diversi luoghi della terra, la durata delle oscillazioni, per pendoli di eguale lunghezza, è in ragione inversa della radice quadrata della intensità della gravità.*

Queste leggi derivano dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, a cui conduce l'applicazione del calcolo al movimento del pendolo semplice. In questa formola, t rappresenta la durata di una oscillazione, l la lunghezza del pendolo, g l'intensità della gravità, cioè la velocità acquistata, dopo un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto (5'), e π è una quantità costante la quale rappresenta il rapporto della circonferenza al diametro, rapporto che si sa essere 3,141592....

Le due prime leggi del pendolo si deducono immediatamente dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ perchè, non essendo contenute in questa formola nè l'ampiezza della oscillazione nè la densità della sostanza di cui è costituito il pendolo, il valore di t è indipendente da queste due quantità.

La terza e la quarta legge sono parimenti comprese nella formola, poichè sotto il radicale, l entra come numeratore e g come denominatore.

60. **Lunghezza del pendolo composto.** — Le leggi e la formola più sopra esposte si applicano al pen-

dolo composto; ma allora bisogna definire ciò che si intenda per *lunghezza* di questo pendolo. Perciò, osserviamo che essendo ogni pendolo composto formato da un'asta pesante terminata da una massa più o meno considerabile, i diversi punti materiali di questo sistema, giusta la terza legge del pendolo, tendono a compiere le loro oscillazioni in tempi tanto più lunghi quanto più sono lontani dal punto di sospensione. Ora, le oscillazioni di tutti questi punti, i quali sono invariabilmente collegati insieme, si compiono necessariamente nel medesimo tempo. Ne risulta quindi che il movimento dei punti più vicini all'asse di sospensione si trova ritardato, mentre quello dei punti più lontani viene accelerato. Fra queste due posizioni estreme trovansi dunque dei punti che non sono nè accelerati nè ritardati, e oscillano come se non fossero uniti al resto del sistema. Siccome questi punti sono equidistanti dall'asse di sospensione, il loro insieme costituisce *un asse di oscillazione* parallelo al primo. Chiamasi *lunghezza del pendolo composto* la distanza dall'asse di sospensione all'asse di oscillazione: cioè *la lunghezza del pendolo composto è quella del pendolo semplice le cui oscillazioni fossero della medesima durata di quelle del composto.*

L'asse di oscillazione ha la proprietà di essere reciproco dell'asse di sospensione; cioè, sospendendo il pendolo per il suo asse di oscillazione, la durata delle oscillazioni non cambia. Questa proprietà fornisce il mezzo di trovare sperimentalmente la lunghezza del pendolo composto. Per ciò, si capovolge il pendolo e lo si sospende per mezzo di un asse mobile, il quale, in seguito ad alcune prove, si colloca in modo che il numero delle oscillazioni, nel medesimo tempo, sia eguale a quello che era prima del rivolgimento. Ottenuto questo risultato, la lunghezza cercata è la distanza tra il secondo asse di sospensione ed il primo. Sostituendo allora il valore così trovato al posto di l, nella formola del pendolo semplice, questa diventa applicabile al pendolo composto, e le leggi delle oscillazioni sono le stesse che per il pendolo semplice.

La lunghezza del pendolo che *batte i secondi*, cioè che fa le sue oscillazioni in 1″, varia colla intensità della gravità ed è:

Sotto l'equatore	0^m,990925.
A Parigi	0 ,993866.
Al 10° dal polo	0 ,995924.
(1)	

(1) A Milano essa è 0^m,993547. (*Nota dei Trad.*).

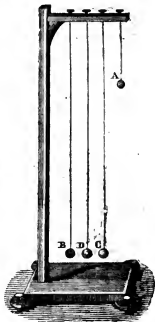
61. Verificazioni delle leggi del pendolo. — Non si possono verificare le leggi del pendolo semplice se non per mezzo del pendolo composto, usando l'avvertenza di costruire quest' ultimo in modo che si accosti, per quanto è possibile, alle condizioni del primo. Per ciò si sospende alla estremità di un filo sottile una piccola sfera di una sostanza assai densa, per esempio, di piombo o di platino. Il pendolo così formato compie le sue oscillazioni sensibilmente come il pendolo semplice, la cui lunghezza fosse eguale alla distanza del centro della piccola sfera dal punto di sospensione.

Per verificare la legge dell'isocronismo delle piccole oscillazioni, si fa oscillare il pendolo così costruito e si conta il numero delle oscillazioni che esso eseguisce, in tempi eguali, quando l'ampiezza è successivamente di 3, 2 od 1 grado. Si osserva allora che il numero delle oscillazioni è costante.

Per dimostrare la seconda legge, si prendono parecchi pendoli B, D, C, (fig. 30) costrutti nello stesso modo del precedente, aventi tutti lunghezze eguali e terminati da sfere del medesimo diametro, ma di sostanze diverse, per esempio; di piombo, di ottone, di avorio. Si osserva che, prescindendo da piccole differenze dovute alla resistenza dell'aria, tutti questi pendoli, nel medesimo tempo, fanno lo stesso numero di oscillazioni. D'onde si conchiude che la gravità agisce su tutte le sostanze colla medesima intensità, ciò che è già stato constatato altrimenti (52).

Fig. 30 (a = 1,m55).

Si verifica la terza legge, facendo oscillare dei pendoli le cui lunghezze sono rispettivamente 1, 4, 9.... e si trova che i numeri delle oscillazioni corrispondenti sono tra loro come i numeri 1, $^1/_2$, $^1/_3$...., onde si scorge che loro durate sono come 1, 2, 3....

Per verificare la quarta legge bisogna cambiar di posizione sulla superficie della terra, per avvicinarsi all'equatore od allontanarsene.

62. **Usi del pendolo.** — Il pendolo serve a confermare, come si è veduto nel paragrafo precedente, che la gravità sollecita tutti i corpi colla medesima intensità. Serve inoltre a determinare l'intensità della gravità nei diversi punti del nostro globo, la massa delle montagne e la densità della terra. Per l'isocronismo delle oscillazioni fu applicato come regolatore agli orologi. Finalmente, in questi ultimi tempi, Foucault lo fece servire alla dimostrazione esperimentale della rotazione diurna della terra.

Per misurare l'intensità della gravità (57) per mezzo del pendolo, si risolve, rispetto a g, l'equazione $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (59). Innalzando i due membri al quadrato, si trova $t^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$. Moltiplicando per g e dividendo per t^2, si ottiene $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Onde si vede che per conoscere g bisogna incominciare a misurare la lunghezza l di un pendolo composto (6), poi misurare la durata t delle sue oscillazioni; il che si ottiene cercando quante oscillazioni esso compia in un numero conosciuto di minuti secondi, e dividendo questo numero per il numero delle oscillazioni.

Operando in questa maniera si determinò il valore di g in diversi punti del globo, e Borda e Cassini trovarono che a Parigi esso è di 9m, 8088. Ma avendo riguardo al fatto che la perdita di peso di un corpo nell'aria è maggiore quando il corpo è in moto di quando è in riposo, e facendo subire al moto del pendolo la correzione richiesta da questa ineguale perdita di peso, Bessel, astronomo di Kœnigsberg, trovò che il vero valore di g, a Parigi, è di 9m, 8096.

Conosciuto il valore di g in ciascun luogo, se ne deduce col calcolo la corrispondente distanza dal centro della terra, e, per conseguenza, la forma di questa.

Huyghens, fisico olandese, applicò per il primo (*) il pendolo come regolatore agli orologi, nel 1657, e la molla spirale agli orologi da tasca, nel 1675. La figura 31 mostra il meccanismo per mezzo del quale il pendolo serve a regolare il movimento degli orologi e delle pendole. La

(*) Nel giornale del R. Istituto Lombardo (1854. Tom. VI, fascicolo 33.º), sulla testimonianza del Viviani, è rivendicata al Galileo la priorità della applicazione del pendolo agli orologi, la quale, immaginata dal già cieco filosofo firentino, venne eseguita da suo figlio, nel 1649.

(*Nota dei Trad.*).

sua asta si impegna in una forchetta *a* destinata a trasmettere il movimento ad una seconda asta *b*, la quale oscilla intorno ad un asse orizzontale *o*. A quest'asse è fissato un pezzo *m n* che, per la sua forma, si distingue col nome di *scappamento ad ancora* e che termina alle sue estremità con due palette, le quali si applicano alternativamente ai denti di una ruota R, detta la *ruota ultima*. Questa ruota, sollecitata dal motore che fa andar l'orologio, tende a prendere un movimento di rotazione continuo nella direzione segnata dalla freccia. Ora, quando il pendolo è in quiete la ruota viene fermata dalle palette *m* e con essa è fermato l'intero movimento dell'orologio. Se, invece, il pendolo oscilla e prende la posizione indicata dalla linea punteggiata, sfugge il dente che urtava contro la paletta, la ruota gira, ma di un solo mezzo dente, per ciò che inclinandosi in direzione opposta l'arco *mn*, la paletta *n* giunge alla sua volta a trattenere un dente. Indi, alla successiva oscillazione, questo dente sfugge, e la paletta *m* trattiene il dente successivo a quello che essa aveva dapprima fermato, e così di seguito; in modo che, ad ogni oscillazione doppia del pendolo, la ruota ultima si avanza di un dente. Ora, siccome le oscillazioni del pendolo sono isocrone, la ruota ultima ed il meccanismo dell'orologio, che ne è solidario, si muovono e si fermano ad intervalli eguali, e quindi indicano divisioni di tempo eguali.

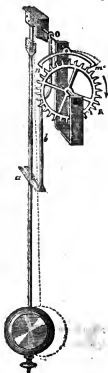



Fig. 31

63. **Problemi sulla gravita'.** — I. Quale sarà la velocità di un corpo che cade liberamente nel vuoto, a Parigi, dopo 45 secondi di caduta?

Questo problema si risolve colla formola

$v = gt$ (55), facendovi $g = 9^m, 8088$ (57) e $t = 45''$, il che dà

$v = 9^m, 8088 \times 45 = 441^m, 398.$

Siccome ad una latitudine diversa da quella di Parigi, il valore di g non è più $9^m, 8088$, la velocità acquistata dal corpo che cade sarebbe maggiore o minore di $441^m, 396$.

II. Quale deve essere, a Parigi, la durata della caduta di un corpo nel vuoto, perchè acquisti la velocità di 600^m, che è quella di una palla da cannone.

Dalla formola $v = gt$ si deduce $t = \frac{v}{g}$; onde, sostituendo a g ed a v i loro valori, si ha

$$t = \frac{600}{9,8088} = 61'', 16.$$

III. Quanto tempo deve impiegare un corpo per cadere nel vuoto, a Parigi, dall'altezza di 1000 metri.

Dalla formola $s = \frac{1}{2} gt^2$ (55) si deduce $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ d'onde

$$t = \sqrt{\frac{2000}{9,8088}} = 14'',28.$$

IV. Da quale altezza dovrebbe cadere un corpo nel vuoto, a Parigi, per acquistare la velocità di 300 metri?

La formola $v^2 = 2gs$ (55) dà $s = \frac{v^2}{2g}$, d'onde

$$s = \frac{90000}{2\ 9,8088} = 4587^m, 7.$$

V. Quale è la forza necessaria per tenere in equilibrio un peso di 2500 chilogrammi sopra un piano inclinato la cui lunghezza AB (fig. 28) è 1000 metri e l'altezza BC 5 metri, quando si faccia astrazione dall'attrito.

Rappresentando con P il peso e con F la forza cercata, abbiamo veduto (53) che si ha la proporzione $F : P = BC : AB$, d'onde:

$$F = \frac{P \times BC}{AB} = \frac{2500 \times 5}{1000} = 12^{ch}, 500.$$

VI. Suppongasi che un projettile venga lanciato verticalmente dal basso all'alto nel vuoto, a Parigi, con una velocità iniziale di $245^m,22$; si domanda dopo quanto tempo questo projettile cesserà di ascendere ed a quale altezza arriverà?

Siano a la velocità iniziale impressa al mobile e t la durata della salita; siccome durante questo tempo la gravità agisce come forza ritardatrice, la velocità decresce di una quantità eguale a g in un secondo, e di una quantità gt dopo t secondi, quindi all'istante in cui il corpo cessa di ascendere si ha $gt = a$, d'onde

$$t = \frac{a}{g} = \frac{245,25}{9,8088} = 25''.$$

Per calcolare l'altezza alla quale giunge il mobile, osserviamo che siccome durante la sua salita la gravità gli sottrae gradatamente la velocità che gli comunicherebbe in egual tempo quando cadesse, bisogna che il corpo impieghi per giungere alla sua massima altezza s precisamente il tempo che impiegherebbe a discenderne.

Quindi l'altezza della salita può essere calcolata colla formola $s = \frac{1}{2} gt^2$ (55),

la quale dà $s = 4{,}9044 \times 625 = 3065^m{,}25$.

CAPITOLO IV.

FORZE MOLECOLARI.

64. *Natura delle forze molecolari.* — I fenomeni presentati dai corpi fanno conoscere che le loro molecole sono costantemente soggette a due forze contrarie, l'una delle quali tende ad avvicinarle e l'altra ad allontanarle. La prima, la quale porta il nome di *attrazione molecolare*, non varia, per un medesimo corpo, se non colla distanza; la seconda, dovuta al calorico, varia colla intensità di questo agente e colla distanza. Dal mutuo rapporto di queste forze e dalla posizione, cui esse obbligano le molecole, risulta lo stato solido, liquido o gasoso (5).

L'attrazione molecolare, non agisce che a distanze infinitamente piccole, il suo effetto è nullo a qualsiasi distanza sensibile; nel che si distingue dalla gravità e dalla gravitazione universale, le quali operano a tutte le distanze. Non si conoscono le leggi secondo le quali essa agisce.

L'attrazione molecolare si distingue secondo il modo diverso di manifestare i suoi effetti, coi nomi di *coesione*, di *affinità* o di *adesione*.

65. *Coesione.* — La *coesione* è la forza che unisce fra loro le molecole similari, ossia della medesima natura; per esempio, due molecole di acqua o due molecole di ferro. Questa forza è quasi nulla nei gas, debole nei liquidi ed assai energica nei solidi. La sua intensità diminuisce quando la temperatura si innalza, mentre aumenta la forza ripulsiva dovuta al calorico. È questa la ragione per cui i corpi solidi riscaldati si liquefanno ed anche passano allo stato di fluido aeriforme.

La coesione varia non solo colla natura dei corpi, ma anche colla disposizione delle loro molecole; come avviene nella cottura delle argille, nella tempera dell'acciajo. Alle modificazioni che subisce la coesione bisogna riferire molte proprietà dei corpi, quali la tenacità, la duttilità, la durezza.

Nei liquidi presi in grande massa la gravità vince la coesione. Da

ciò dipende che i liquidi, obbedendo continuamente alla prima di queste due forze, non assumono alcuna forma particolare e pigliano sempre quella dei vasi che li contengono. Ma in una piccola massa prevale la cocsione ed i liquidi assumono allora la forma sferoidea. Ciò avviene nelle goccie di rugiada sospese alle foglie delle piante; si osserva il medesimo fenomeno quando si spande su di una superficie piana orizzontale un liquido che non la bagni, come sarebbe del mercurio sul legno. Si può anche fare l'esperimento con dell'acqua, quando sia sparsa previamente sulla superficie una polvere leggiera, per esempio del nero di fumo.

66. *Affinità.* — *L'affinità* è l'attrazione che si esercita fra due sostanze eterogenee; per esempio, gli atomi di idrogeno e di ossigeno, che costituiscono l'acqua, sono uniti dalla affinità; mentre due molecole d'acqua sono collegate dalla forza di coesione. Cioè nei corpi composti la coesione e l'affinità agiscono simultaneamente, mentre nei corpi semplici agisce soltanto la coesione.

Tutti i fenomeni delle combinazioni e delle decomposizioni chimiche devono essere riferiti alla affinità.

Ogni causa che tenda ad indebolire la coesione rende più energica l'affinità. Di fatti, questa forza è favorita dallo stato di divisione e dallo stato liquido o gasoso. L'affinità si sviluppa specialmente per lo *stato nascente*, cioè per lo stato in cui si trova un corpo il quale, svincolandosi da una combinazione, trovasi isolato e libero di obbedire anche ai più deboli impulsi di questa forza. Finalmente, l'affinità viene in varia guisa modificata dall'innalzamento della temperatura. In certi casi il calorico favorisce le combinazioni coll'allontanare le molecole e col diminuire la coesione. L'affinità fra il solfo e l'ossigeno, per esempio, è senza effetto alla temperatura ordinaria, mentre ad una temperatura elevata questi corpi si combinano dando origine ad un composto assai stabile, l'acido solforoso. Invece, in altri casi il calorico distrugge le combinazioni comunicando ai loro elementi una ineguale espansibilità. Così avviene che molti ossidi metallici siano decomposti dall'azione del calorico.

67. *Adesione.* — Chiamasi *adesione* l'attrazione molecolare che si manifesta fra i corpi che si trovano in contatto. Per esempio, due lastre di cristallo che rimangono sovrapposte l'una all'altra, dopo un certo tempo aderiscono talmente fra loro che torna impossibile separarle senza romperle. Questa forza non agisce soltanto fra i solidi, ma eziandio fra i solidi ed i liquidi, e fra i solidi ed i gas.

L'adesione fra i solidi non è un effetto della pressione atmosferica, perchè si osserva anche nel vuoto. Essa cresce col grado di levigatezza della superficie e colla durata del contatto: di fatti, la resistenza alla separazione è tanto maggiore quanto più lunga fu la durata del contatto. Finalmente, l'adesione fra i corpi solidi è indipendente dalla loro

grossezza, onde risulta che l'attrazione si esercita soltanto a piccolissime distanze.

I corpi solidi, immersi nell'acqua, nell'alcoole e nella maggior parte dei liquidi, ne escono ricoperti di uno strato liquido, il quale è trattenuto dell'adesione.

Fra i solidi ed i gas si presentano fenomeni di adesione simili a quelli che avvengono fra i solidi ed i liquidi. Di fatti, immergendo una lamina di vetro o di metallo nell'acqua, vedonsi comparire alla sua superficie delle bolle di aria. Siccome, in questo caso, l'acqua non penetra nei pori della lamina, queste bolle non sono formate dall'aria che trovavasi in essi imprigionata, ma provengono unicamente da uno strato di aria che ricopriva la lamina e la *bagnava* come fanno i liquidi.

Quanto prima esamineremo, sotto i nomi di *capillarità*, di *endosmosi*, di *assorbimento* e di *imbibizione*, una serie di fenomeni che hanno parimenti per causa l'attrazione molecolare.

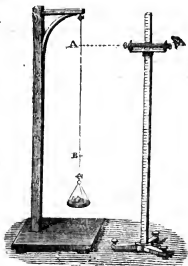
CAPITOLO V.

PROPRIETA' PARTICOLARI DEI SOLIDI.

68. *Diverse proprietà particolari.* — Dopo di aver fatto conoscere le principali proprietà comuni ai solidi, ai liquidi ed ai gas, tratterremo qui delle principali proprietà particolari dei solidi. Queste proprietà sono: l'*elasticità di trazione*, l'*elasticità di torsione*, l'*elasticità di inflessione*, la *tenacità*, la *duttilità* e la *durezza*.

Fig. 32.

69 *Elasticità di trazione.* — Abbiamo già parlato della elasticità quale proprietà generale (19); ma ivi trattavasi soltanto della elasticità sviluppata dalla pressione. Ora, nei solidi, l'elasticità può anche manifestarsi per trazione, per torsione e per inflessione.

Per istudiare le leggi della elasticità di trazione, Savart adoperò l'apparecchio rappresentato dalla figura 32. Quest' apparecchio si compone di un sostegno di legno, al quale si sospendono le aste od i fili che si vogliono sottoporre ad esperimento. Si attacca alla loro

estremità inferiore un bacino destinato a ricevere dei pesi, e sulla loro lunghezza si tracciano due segni A e B, di cui si misura precisamente la distanza per mezzo di un catetometro, prima che il bacino sia caricato.

Chiamasi *catetometro* un regolo di ottone diviso in millimetri, cui si può dare una posizione verticale per mezzo di un piede con viti di livello. Un cannocchiale in perfetta squadra col regolo può scorrere nel verso della sua lunghezza, e porta un verniero col quale si misurano i cinquantesimi di millimetro. Fissando successivamente questo cannocchiale rimpetto ai punti A e B, come si vede nella figura, si ottiene, sulla scala graduata, la distanza di questi due punti. Collocando poi dei pesi nel piatto e misurando di nuovo la distanza dei punti segnati A e B, si determina l'allungamento.

In questo modo si trovò che, quando non si oltrepassi il limite di elasticità, la trazione delle aste e dei fili è sottoposta alle tre leggi seguenti:

1.ª *Le aste ed i fili hanno una elasticità perfetta, cioè riprendono precisamente la primitiva loro lunghezza tosto che cessi la trazione.*

2.ª *Per una medesima sostanza e per un medesimo diametro, l'allungamento è proporzionale alla forza di trazione ed alla lunghezza.*

3.ª *Per aste o fili della medesima lunghezza e della medesima sostanza, ma di differente grossezza, gli allungamenti sono in ragione inversa dei quadrati dei diametri.*

Il calcolo e l'esperienza dimostrano che quando i corpi si allungano per trazione crescono di volume.

Vertheim, il quale istituì moltissime esperienze sulla elasticità dei metalli, riconobbe che l'elasticità subisce un decremento continuo di mano in mano che la temperatura cresce da 15° a 200°; il ferro e l'acciajo però presentano una eccezione, perchè la loro elasticità cresce sino a 100° e poi diminuisce. Lo stesso fisico ha trovato che, in generale, *tutte le cause le quali aumentano la densità fanno crescere in pari tempo l'elasticità, e reciprocamente.*

76. ***Elasticità di torsione.*** — Le leggi della torsione dei fili sono state determinate da Coulomb, fisico francese morto nel 1806. Nelle sue indagini, questo scienziato adoperò un apparecchio che si chiama *bilancia di torsione*, e che è composto di un filo metallico sottile, attaccato ad un punto fisso colla sua estremità superiore e teso da un peso nel quale è infisso un indice orizzontale. Inferiormente avvi un cerchio graduato il cui centro si trova sul prolungamento del filo, quando questo è verticale. La forza necessaria per deviar l'ago dalla sua posizione d'equilibrio dicesi *forza di torsione*, e l'angolo che misura questa deviazione chiamasi *angolo di torsione*. In seguito a cosiffatta deviazione, le molecole, le quali erano disposte in linee rette secondo la lunghezza del filo, trovansi collocate secondo un'elice intorno all'asse di questo filo. Se il limite di elasticità non è stato

superato, le molecole tendono a riprendere la loro posizione primitiva, e vi ritornano di fatti appena che cessa di agire la forza di torsione, ma non vi si fermano. In virtù della velocità acquistata, oltrepassano questa posizione producendo una torsione in verso opposto. Trovandosi tolto nuovamente l'equilibrio, il filo storcesi ancora e l'indice non si ferma allo zero del circolo graduato se non dopo un certo numero di oscillazioni al due lati di questo punto.

Per mezzo dell' apparato ora descritto, Coulomb riconobbe le quattro leggi seguenti:

1.ª *Le oscillazioni sono sensibilmente isocrone quando non oltrepassino un piccolo numero di gradi.*

2.ª *Per un medesimo filo, l'angolo di torsione è proporzionale alla forza di torsione.*

3.ª *Per una medesima forza di torsione e per fili del medesimo diametro, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza dei fili*

4.ª *Per una medesima forza e per una medesima lunghezza dei fili, l' angolo di torsione è inversamente proporzionale alla quarta potenza dei diametri.*

71. *Elasticità di inflessione.* — Tutti i solidi ridotti in lamine sottili e tenuti fermi per una delle loro estremità, dopo di essere stati più o meno ricurvati, possono ritornare alla loro forma primitiva, quando vengano abbandonati a sè stessi.

Questa proprietà è assai evidente nell'acciajo temperato, nel legno, nella gomma elastica, nella carta.

L'elasticità di inflessione trova numerose applicazioni negli archi, nelle balestre, nelle molle d'orologio, nelle molle da carrozza, in alcuni apparati che servono di bilancia e nei dinamometri destinati a misurare la forza dei motori. Si approfitta della elasticità del crine, della lana, delle piume, nei materassi e nel cuscini usati nell'economia domestica.

Abbiamo già notato (19) che qualunque specie di elasticità ha sempre un limite; cioè che al di là di un determinato spostamento molecolare i corpi si infrangono o per lo meno non riacquistano più la loro forma primitiva. Molte cause possono far variare questo limite. Di fatti, si verifica, che l'elasticità di molti metalli è aumentata dall'*incrudimento*, cioè dall' avvicinamento delle molecole, prodotto, a freddo, dalla trafila, dal laminatojo o dal martello. Alcune sostanze, quali l'acciaio, la ghisa, il vetro, diventano anche più elastiche, e nello stesso tempo più dure, per la *tempera* (76).

All'opposto l'elasticità è diminuita dal ricuocimento, operazione che consiste nel portare i corpi ad una temperatura meno elevata di quella che si usa per la tempera, e nel raffreddarli successivamente con lentezza. Per mezzo del ricuocimento si gradua come si vuole l' elasticità delle molle. Siccome il vetro riscaldato subisce una vera tempera quando si raffreddi troppo rapidamente, così per diminuire la fragilità degli oggetti di vetro, questi, appena fabbricati, vengono ricotti in un forno, dal quale si allontanano in seguito assai lentamente.

72. *Tenacità.* — La *tenacità* è la resistenza che i corpi oppongono alla trazione. Per valutare questa forza si dà ai corpi la forma di verghe cilindriche o prismatiche e si sottopongono, nella direzione della loro lunghezza, ad una trazione misurata in chilogrammi e bastante per determinare la rottura.

La carica che produce la rottura è direttamente proporzionale alla sezione traversale dei fili o dei prismi e indipendente dalla loro lunghezza. Da numerosi esperimenti sui metalli risulta che la forza necessaria per operarne la rottura è presso a poco tripla di quella che corrisponde al limite di elasticità.

La tenacità diminuisce colla durata della trazione. Di fatti, si riconosce che le verghe di metallo o di altra sostanza, dopo un certo tempo, cedono a pesi minori di quelli che sarebbero necessari per produrre la rottura immediatamente. In tutti i casi la resistenza alla trazione è minore della resistenza alla pressione.

La tenacità non varia soltanto da una sostanza all'altra; ma varia anche colla forma del corpo. Per sezioni equivalenti, il prisma è meno resistente del cilindro. Per una data quantità di materia, il cilindro cavo è più resistente del cilindro massiccio; ed il *maximum* di tenacità si verifica quando il raggio esterno sta al raggio interno nel rapporto di 11 a 5.

Per uno stesso corpo la forma ha la medesima influenza sulla resistenza allo schiacciamento che sulla resistenza alla trazione. Di fatti, un cilindro cavo, a parità di massa e di altezza, è più resistente di un cilindro massiccio: d'onde risulta che le ossa degli animali, le penne degli uccelli, i fusti delle graminacee e di un gran numero di piante, oppongono alla rottura maggior resistenza che se, a parità di massa, fossero piene.

Finalmente, la tenacità, al pari della elasticità, varia per un medesimo corpo colla direzione che si considera. Nel legno, per esempio, la tenacità e la elasticità sono maggiori nella direzione delle fibre che trasversalmente. Questa differenza si osserva, in generale, in tutti quei corpi che non hanno una struttura identica in tutte le direzioni.

Pesi, in chilogrammi, per milimetro quadrato,
che determinano la rottura.

Piombo fuso	2,21	Ferro passato alla trafila	63,88
» passato alla trafila	2,46	» ricotto	50,25
Stagno fuso	4,16	Acciajo fuso passato alla trafila	83,80
» passato alla trafila	3,..	Antimonio fuso	0,67
Oro »	28,..	Bismuto	0,97
» ricotto	11,..		
Argento passato alla trafila	29,..	*Legni nel verso delle fibre.*	
» ricotto	16,40		
Zinco passato alla trafila	15,77	Bosso	11,..
» ricotto	14,40	Frassino	12,..
Rame passato alla trafila	41,..	Abete	9,..
» ricotto	31,60	Faggio	8,..
Platino passato alla trafila	35,..	Quercia	7,..
» ricotto	26,75	Anacardio	5,..

In questa tavola, i corpi si suppongono alla temperatura ordinaria; ma a temperatura più elevata la tenacità decresce rapidamente. Séguin seniore, il quale fece recentemente delle ricerche intorno a questo argomento sul ferro e sul rame, trovò le seguenti tenacità, in chilogrammi, per ogni milimetro quadrato.

Ferro a 10°, 60chil., a 370°, 54chil., a 500°, 33chil.,
Rame 21chil., — 7chil., 7

73. *Duttilità.* — Chiamasi *duttilità* la proprietà che possedono molti corpi di cangiare di forma per effetto di pressioni o di trazioni più o meno considerabili.

Deboli sforzi sono sufficienti per deformare certi corpi, come l'argilla e la cera; per altri corpi, a cagione d'esempio, il vetro, le resine, bisogna che vi concorra anche il calore; finalmente, per i metalli si richiedono sforzi potenti, come quelli che possono esercitare il martello, la trafila ed il laminatojo.

La duttilità prende il nome di *malleabilità* quando il cambiamento di forma è prodotto dal martello. Il metallo più facilmente malleabile è il piombo; il più duttile al laminatojo è l'oro, alla trafila il platino.

Wollaston ottenne dei fili di quest'ultimo metallo i quali avevano soltanto $^1/_{500}$ di millimetro di diametro. Per giungere a tal risultato, egli ricoprì di argento un filo di platino del diametro di $^1/_4$ di millimetro, in maniera di ottenere un cilindro della grossezza di 5 millimetri la cui parte centrale era di platino. Passando questo filo alla trafila in modo di ridurlo alla maggiore sottigliezza possibile, i metalli si allungavano amendue. Facendo allora bollire nell'acido azotico il filo così ottenuto, l'argento era disciolto ed il filo di platino rimaneva isolato. Mille metri di questo filo pesavano soltanto 5 centigrammi.

74. *Durezza.* — La durezza è la resistenza che presentano i corpi ad essere scalfiti o lisciati da altri corpi.

Questa proprietà non è che relativa, perchè un corpo duro per rispetto ad una sostanza è tenero per rispetto ad un'altra. Si distingue la durezza relativa di due corpi cercando quello che scalfisce l'altro senza esserne scalfito. In tal maniera si conobbe che il diamante è il più duro di tutti i corpi, perché li scalfisce tutti e non è rigato da alcuno Al diamante tengono dietro lo zaffiro, il rubino, il cristallo di rocca, le arenarie, ecc. I metalli allo stato di purezza sono poco duri.

Le leghe sono più dure dei metalli di cui risultano. L'oro e l'argento, che si adoperano nei lavori di orefice e nella fabbricazione delle monete, si allegano al rame e così aumentano di durezza.

La durezza di un corpo non è in rapporto colla sua resistenza alla compressione. Il vetro ed il diamante sono molto più duri del legno, ma resistono molto meno di quest'ultimo al colpo del martello.

Le polveri che servono a lisciare certi corpi, come quelle dello smeriglio, della pomice, del tripoli, ci offrono l'esempio di una vantag-

giosa applicazione della durezza. Il diamante, essendo il più duro di tutti i corpi, non può essere lisciato che per mezzo della propria polvere.

75. *Tempera.* — La *tempera* è il raffreddamento istantaneo di un metallo previamente portato ad una elevata temperatura. Per mezzo di questa operazione l'acciajo e la ghisa acquistano una grande durezza, ed è specialmente a questo scopo che serve la tempera. Tutti gli strumenti taglienti sono di acciajo temperato. Ma vi sono dei corpi sui quali la tempera produce un effetto del tutto opposto. La lega dei *tamtam*, la quale è composta di una parte di stagno e di quattro parti di rame, diventa duttile e malleabile quando venga repentinamente raffreddata; invece, diventa dura e fragile come il vetro quando venga raffreddata con lentezza.

LIBRO III.

DEI LIQUIDI.

CAPITOLO I.

IDROSTATICA.

76. **Oggetto dell'idrostatica.** — L'*idrostatica* è la scienza che ha per oggetto lo studio delle condizioni di equilibrio dei liquidi e quello delle pressioni che essi esercitano, sia nella propria massa, sia sulle pareti dei vasi che li contengono.

La scienza che tratta dei movimenti dei liquidi si chiama *idrodinamica*, e l'applicazione de' suoi principii all'arte di condurre e di innalzare le acque si distingue specialmente col nome di *idraulica*.

77. **Caratteri generali dei liquidi.** — Si è già veduto (5) che i liquidi sono corpi le cui molecole, a cagione di una estrema mobilità, cedono ai più lievi sforzi tendenti a spostarle; d'onde ne risulta che questi corpi non prendono alcuna forma stabile e che, obbedendo continuamente all'azione della gravità, assumono immediatamente la forma dei vasi nei quali vengono versati. Tuttavia, la loro fluidità non è perfetta; esiste sempre fra le loro molecole un'aderenza, la quale produce una viscosità più o meno grande. Questa viscosità del resto varia da un liquido all'altro; in alcuni, come sono l'etere e l'alcoole, è quasi nulla, mentre è assai apparente nell'acido solforico, negli olj grassi e nei liquidi molto carichi di gomma o di zuccaro.

Il carattere della fluidità si incontra anche nei gas, ma ad un grado più elevato. I liquidi sono dotati di una compressibilità appena sensibile, mentre i fluidi aeriformi sono eminentemente compressibili; tale differenza di compressibilità serve appunto a distinguere queste due specie di corpi.

La fluidità dei liquidi ci è resa manifesta dalla facilità colla quale essi prendono qualunque sorta di forme; la

loro compressibilità può essere dimostrata per mezzo dell'esperienza.

78. **Compressibilità dei liquidi.** — In seguito allo sperimento degli Accademici di Firenze precedentemente riferito (15), per lungo volgere di tempo si considerarono i liquidi siccome affatto incompressibili. Successivamente, si fecero delle indagini sul medesimo soggetto, in Inghilterra, da Canton, nel 1761 e da Perkins, nel 1819; a Copenhagen, da Œrsted, nel 1823; finalmente, nel 1827, da Colladon e Sturm; e per mezzo di questi diversi esperimenti si verificò che i liquidi sono realmente compressibili.

Fig. 33 ($a = 64$).

Gli apparecchi destinati a misurare la compressibilità dei liquidi ricevettero il nome di *piezometri*. Descriveremo qui quello di Œrsterd, colle modicazioni che vi ha introdotto Despretz. Esso risulta di un cilindro di cristallo a pareti assai grosse e del diametro di 8 a 9 centimetri (fig. 33). Questo cilindro, pieno compiutamente d'acqua, è chiuso alla sua base da un piede di legno al quale è solidamente congiunto con mastice e, alla parte superiore, si incastra in un cilindro di ottone chiuso da un coperchio a vite. Il coperchio porta un imbuto R, che serve per introdurre l'acqua nel cilindro, ed un piccolo corpo di tromba nel quale avvi uno stantuffo, che chiude esattamente e che si fa avanzare per mezzo di una vite di pressione P.

Nell'interno dell'apparato trovasi in serbatojo di vetro A, pieno del liquido che si vuol comprimere, e terminato alla sua parte superiore da un tubo capillare, curvato ed immerso per un capo in un bagno di mercurio O. Questo tubo è stato previamente diviso in parti di eguale capacità, e venne pure determinato il numero N di queste parti contenute in tutto l'apparato. Per ciò siano p

il peso del mercurio a zero contenuto nelle n divisioni del tubo capillare, e P il peso dello stesso liquido contenuto in tutto l'apparato alla medesima temperatura; quindi si ha l'eguaglianza $\frac{N}{n} = \frac{P}{p}$, d'onde $N = \frac{Pn}{n}$.

Finalmente, nell'interno del cilindro avvi un *manometro ad aria compressa.* Chiamasi con questo nome un tubo di vetro B, la cui estremità superiore è chiusa e l'inferiore aperta ed immersa nel bagno di mercurio che si trova sul fondo dell' apparao. Quando non si esercita alcuna pressione sull'acqua che riempie il cilindro, il tubo B è tutto pieno di aria; ma quando, per mezzo della vite P e dello stantuffo, si comprime l' acqua del cilindro, la pressione si trasmette al mercurio il quale si innalza nel tubo B comprimendo l'aria in esso contenuta. Una scala graduata C, collocata nella direzione della lunghezza di questo tubo, indica la diminuzione di volume dell'aria, e da questa diminuzione di volume si deduce poi la pressione esercitata sul liquido contenuto nel cilindro, come si dimostrerà parlando del manometro (154).

Per esperimentare con quest'apparato, si incomincia col riempire il serbatoio A del liquido che si vuole comprimere; poi, per mezzo dell' imbuto R, si riempie d'acqua il cilindro. Allora la vite P, girata in modo di far discendere lo stantuffo, esercita una pressione sull'acqua e sugli altri liquidi che si trovano nell'apparato, e, per effetto di questa pressione, il mercurio si innalza non solo nel tubo B, ma anche nel tubo capillare annesso al serbatoio A, come mostra la figura. Quest'innalzamento del mercurio nel tubo capillare indica che il liquido contenuto nel serbatojo diminuì di volume ed offre la misura della sua contrazione, poichè se si rappresenta con n' il numero delle divisioni di cui il mercurio si è innalzato nel tubo capillare, e con F la pressione in atmosfere (151) segnata dal manometro, $\frac{n'}{N}$ è evidentemente la contrazione per l'unità di volume, e $\frac{n'}{NF}$ la contrazione per l' unità di volume e l' unità di pressione, cioè il *coefficiente di compressibilità.* Difatti, Œrsted, nei suoi esperimenti, aveva supposto che la capacità del serbatojo rimanesse invariabile, essendo le pareti egualmente com-

presse internamente ed esternamente dal liquido (80). Ma l'analisi matematica prova che questa capacità diminuisce per effetto delle pressioni esterna ed interna. Colladon e Sturm eseguirono le loro esperienze tenendo a calcolo questo cambiamento di capacità, ed in tal maniera trovarono, per una pressione eguale al peso dell'atmosfera, e alla temparatura di 0° i seguenti coefficienti di compressibilità assoluta:

Mercurio. . . .	5	milionesimi del volume primitivo
Acqua distillata non privata di aria .	49	— — —
Acqua distillata privata di aria . .	51	— — —
Etere solforico .	133	— — —

Essi osservarono inoltre, per l'acqua ed il mercurio, che, entro certi limiti, il decremento di volume è proporzionale alla pressione.

Qualunque sia la compressione alla quale un liquido fu sottoposto, l'esperienza dimostra che, appena cessato l'eccesso di pressione, il liquido riacquista precisamente il suo volume primitivo; donde si deduce che *i liquidi sono perfettamente elastici.*

79. **Principio dell' eguaglianza di pressione o principio di Pascal.** — Considerando i liquidi come perfettamente elastici, dotati di una perfetta fluidità, e supponendoli sottratti all'azione della gravità, si giunse al seguente principio conosciuto sotto il nome di *principio dell'eguaglianza di pressione* o *principio di Pascal*, perchè fu stabilito per la prima volta dal celebre scrittore e geometra Biagio Pascal:

Una pressione esercitata in un punto qualunque della massa di un liquido si trasmette in tutti i versi colla medesima intensità sopra ogni superficie eguale a quella che riceve la pressione.

Per intendere questo principio, che è il fondamento di tutta l'idrostatica, si immagini un vaso di forma qualunque pieno d'acqua sulle pareti del quale si trovino diversi canali cilindrici chiusi da stantuffi mobili. Se, sullo stantuffo superiore A (fig. 34), si esercita dall'esterno all'interno una pressione qualunque, per esempio, di 20 chilogrammi, istantaneamente questa pressione si trasmette sulla faccia interna degli stantuffi B C......, i quali sono

spinti dall'interno all'esterno da una pressione di 20 chilogrammi, se la loro superficie eguaglia quella del primo stantuffo; ma per superficie doppie, triple, la pressione trasmessa è di 40 o 60 chilogrammi, cioè *cresce proporzionalmente alla superficie.*

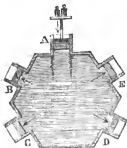
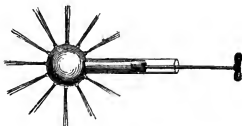



Fig. 34 *Fig.* 35.

Il principio dell'eguaglianza di pressione è generalmente ammesso come una conseguenza della costituzione dei liquidi. Per mezzo del seguente esperimento si può dimostrare che la pressione si trasmette in tutte le direzioni; ma non si dimostra che si trasmette in tutte egualmente. Un cilindro, nel quale si muove uno stantuffo (fig. 35), è terminato da una sfera cava sulla quale sono disposti dei piccoli tubi cilindrici perpendicolari alla sua superficie. Essendo la sfera ed il cilindro pieni di acqua, quando si fa avanzare lo stantuffo, si vede il liquido zampillare da tutti gli orificii e non soltanto da quello che è opposto allo stantuffo.

Non si può dare una soddisfacente dimostrazione esperimentale dal principio dell'eguaglianza di pressione, perchè negli esperimenti non si può fare astrazione nè del peso dei liquidi, nè dall'attrito degli stantuffi, che trasmettono o che ricevono la pressione.

In tutto quanto segue relativamente alle pressioni trasmesse dai liquidi alle pareti dei vasi che li contengono, importa osservare che siffatte pressioni dovranno sempre essere supposte *perpendicolari a queste pareti.* Infatti ogni pressione obbliqua può essere decomposta in due altre (29), una perpendicolare alla parete a l'altra parallela e quindi non producente su di essa verun effetto.

80. **Pressione verticale dall'alto al basso; sue leggi.** — Se immaginasi diviso in istrati orizzontali di eguale grossezza un liquido qualunque che trovasi in quiete in un vase, è evidente che ogni strato sostiene il peso di quelli che gli sovrastano. Quindi l'azione della gravità produce nella massa del liquido delle pressioni interne, variabili da un punto all'altro. Queste pressioni sono sottoposte alle seguenti leggi generali.

1.ª *La pressione sopra ogni strato è proporzionale alla profondità.*

2.ª *Per una medesima profondità, in liquidi diversi, la pressione è proporzionale alla densità del liquido;*

3.ª *La pressione è eguale su tutti i punti di un medesimo strato orizzontale;*

Le due prime leggi possono essere ammesse come evidenti; la terza è una conseguenza della prima.

81. **Pressione verticale dal basso all'alto.** — La pressione che gli strati superiori di un liquido esercitano sugli inferiori produce in questi una reazione eguale e contraria dal basso all'alto, la quale è una conseguenza del principio della trasmissione delle pressioni in tutti i versi. Questa pressione dal basso all'alto si distingue col nome di *spinta del liquido*. Essa è assai sensibile quando si immerge la mano in un liquido, specialmente se d'una grande densità, come il mercurio.

Fig. 36. (a = 20).

Affine di constatarla per mezzo di un esperimento diretto, si adopera un tubo di vetro aperto alle due estremità (fig. 36). Dopo di avere applicato contro l' estremità inferiore un disco di vetro B, che serve di otturatore e che si sostiene dapprincipio per mezzo di un filo A, si immerge il tubo nell'acqua, indi si abbandona il filo a sè stesso. L'otturatore rimane allora applicato contro il tubo, ciò che indica di già che esso sostiene, dal basso all'alto, una pressione superiore al proprio peso. Finalmente, se si versa a poco a poco dell'acqua nel tubo, il disco sostiene il peso di questo liquido, e l'otturatore non cade se

non all'istante in cui l'acqua all'interno raggiunge quasi il livello esteriore. Ciò dimostra che la pressione esercitata dal basso all'alto sul disco è uguale al peso di una colonna di acqua avente per base la sezione interna del tubo, e per altezza la distanza del disco dalla superficie superiore dell'acqua, nella quale il tubo è stato immerso. Cioè la *spinta dei liquidi in un punto qualunque della loro massa è soggetta alle stesse tre leggi indicate per la pressione verticale dall'alto in basso.* (80).

82. **La pressione è indipendente dalla forma dei vasi.** La pressione esercitata da un liquido, in causa del suo peso, sopra un punto qualunque della sua massa o sopra le pareti del vase che lo contiene, dipende, come si è veduto al paragrafo 80, dalla profondità e dalla densità del liquido, ma *è indipendente dalla forma del vase* e dalla quantità del liquido.

Questo principio, che è una conseguenza del principio

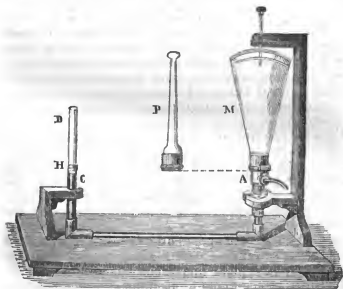



Fig. 37.

dell' eguaglianza di pressione, può essere dimostrato sperimentalmente con parecchi apparati; quello che si adopera più di sovente è il seguente dovuto a de Haldat.

Quest'apparato si compone di un tubo a gomiti ACD (fig. 37), al quale si possono successivamente unire a vite, in A, due vasi M e P della medesima altezza, ma di

forma e di capacità differenti, essendo conico il primo ed il secondo quasi cilindrico. Per fare l'esperimento, si incomincia col versare del mercurio nel tubo AC, in modo che il suo livello non arrivi precisamente sino al punto A. Si unisce allora a vite col tubo il vase M, che si riempie di acqua; questa, per il proprio peso, fa discendere il mercurio in A e lo fa salire nel tubo CD, ove si segna il suo livello per mezzo di una viera H, che si può far scorrere lunghesso il tubo. Si segna parimenti il livello dell'acqua nel vase M per mezzo di un'asta mobile O, situata superiormente. Ciò fatto, si svuota il vase M per mezzo di una chiavetta, e gli si sostituisce il vase P. Versando finalmente dell'acqua in quest'ultimo, si vede il mercurio, il quale aveva ripigliato il primitivo livello nel tubo AC, salire di nuovo nel tubo D; e, quando l'acqua arriva, nel vase P, alla medesima altezza che aveva nel vase M, ciò che si riconosce per mezzo dell'asta O, il mercurio ritorna, nel tubo D, al medesimo livello che aveva nel primo caso, come indica la viera H. Da ciò si conchiude che, in ambedue le circostanze, la pressione trasmessa sul mercurio nella direzione AC è la stessa. Questa pressione è quindi indipendente dalla forma del vase, e, per conseguenza, dalla quantità del liquido. E poi evidente che il fondo del vase è lo stesso in ambedue i casi; cioè sempre la superficie del mercurio nell'interno del tubo A.

Pertanto con una piccolissima quantità di liquido si possono produrre considerabili pressioni. A quest'uopo, basta adattare alla parete d'un vase chiuso e pieno di acqua un tubo di piccolo diametro e di grande altezza. Empito d'acqua questo tubo, la pressione trasmessa sul fondo del vase è eguale al peso di una colonna di acqua avente per base questo fondo ed un'altezza eguale a quella del tubo. Si può quindi aumentarla ad arbitrio. Si giunse in tal maniera, con un semplice filo di acqua dell'altezza di 10 metri, a far iscoppiare una robusta botte.

Dietro il principio ora dimostrato, si possono facilmente calcolare le pressioni che si producono al fondo dei mari. Di fatti, dimostreremo fra poco che la pressione dell'atmosfera è eguale a quella di una colonna d'acqua dell'altezza di 10 metri. Ora, i navigatori hanno spesse volte osservato che lo scandaglio non toccava il fondo dei mari ad una profondità di 4,000 metri. Per ciò al fondo di certi mari l'acqua esercita una pressione eguale a 400 volte quella dell'atmosfera.

83. **Pressioni sulle pareti laterali.** — Siccome, dietro il principio di Pascal, le pressioni prodotte dalla gravità nella massa dei liquidi si trasmettono in tutti i versi anche sulle pareti laterali dei vasi, ne risultano delle pressioni sottoposte alle leggi precedentemente stabilite (179), e dirette sempre perpendicolarmente a queste pareti qualunque sia la loro forma: poichè ogni pressione obliqua, rispetto ad una parete, si decompone in due forze, l' una perpendicolare alla parete e che preme la parete stessa, l'altra parallela e che non produce effetto veruno. La risultante di tutte le pressioni perpendicolari rappresenta la pressione totale sulla parete: ma siccome queste pressioni crescono in proporzione della profondità ed anche della estensione della superficie nella direzione orizzontale, così la loro risultante non si può trovare che per mezzo del calcolo col quale si dimostra che la pressione totale, sopra una data porzione di parete, *è eguale al peso di una colonna liquida avente per base questa porzione di parete e per altezza la distanza del suo centro di gravità dalla superficie libera del liquido.*

Il punto poi di applicazione di questa pressione è sempre al di sotto del centro di gravità. Si distingue questo punto col nome di *centro di pressione.* La posizione di questo punto si determina per mezzo del calcolo, il quale conduce ai seguenti risultati: 1.º su di una parete rettangolare, di cui un lembo è a fior d'acqua, il centro di pressione è situato ai $^2/_3$ della retta che congiunge i punti di mezzo dei lati orizzontali, partendo dall'alto; 2.º su di una parete triangolare equicrure, la cui base è orizzontale e a fior d'acqua, il centro di pressione è alla metà della retta che congiunge il vertice del triangolo col punto di mezzo di questa base; 3.º per una parete triangolare come la precedente, il cui vertice è a fior d'acqua e la base orizzontale, il centro di pressione si trova ai tre quarti della retta che congiunge il punto di mezzo di questa base col vertice, partendo da quest'ultimo punto.

84. **Arganetto idraulico.** — Quando un liquido è in equilibrio in un vase, sulle pareti opposte si producono, in ogni strato orizzontale, delle pressioni eguali e contrarie a due a due le quali si distruggono, e quindi non producono verun effetto; la loro esistenza è però constatata dall'*arganetto idraulico.* Questo apparato risulta di un vase di vetro M (fig. 38) che appoggia su di un perno in modo da poter girare liberamente intorno ad un asse verticale.

Alla parte inferiore di questo vase è unito un tubo di ottone perpendicolare all'asse del vase, piegato ad angolo retto in direzione orizzontale e in versi contrarii alle sue estremità. Quando l'apparato è pieno di acqua, si producono su tutte le pareti del tubo inferiore delle pressioni interne che si distruggerebbero siccome eguali e contrarie a due a due, se il tubo fosse chiuso. Ma essendo questo aperto alle due estremità, il liquido effluisce, ed allora la pressione non si esercita più agli orifizi B, ma soltanto sulla parete opposta A, come è rappresentato alla destra della figura. La pressione che si esercita in A, non essendo più contrabbilanciata dalla pressione opposta, imprime al tubo ed a tutto l'apparato un movimento di rotazione, nel verso della freccia; questo movimento poi è tanto più rapido quanto maggiore è l'altezza del liquido nel vase, e quanto più ampia è la sezione degli orifizi di uscita.

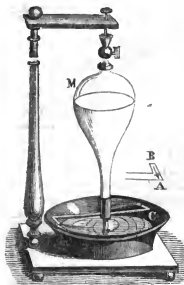



Fig. 38. (a = 62).

Le pressioni laterali ricevettero una importante applicazione nei motori idraulici conosciuti sotto il nome di ***ruote a reazione.***

85. **Paradosso idrostatico.** — Si è veduto precedentemente (82) che la pressione sul fondo di un vase pieno di liquido non dipende nè dalla forma del vase, nè dalla quantità del liquido, ma soltanto dall'altezza di questo al di sopra del fondo. Ora non si deve confondere questa pressione così esercitata sul fondo con quella che il vase stesso esercita sul corpo che gli serve di sostegno. Quest'ultima è sempre eguale al peso totale del vase e del liquido in esso contenuto, mentre la prima può essere maggiore di questa, minore od eguale secondo la forma del vase.

Per esempio, siano tre vasi A, B, C, (fig. 39, 40 e 41), aventi un fondo eguale con forme diverse e pieni d'acqua sino alla stessa altezza. La pressione sul fondo dei vasi è la stessa nei tre casi, ma varia quella che viene trasmessa

dai vasi ai loro sostegni. Infatti, se nel vase B si decompongono le pressioni normali alle pareti in orizzontali ed in verticali, le prime si distruggono a due a due, mentre

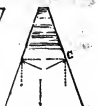



Fig. 39. *Fig.* 40. *Fig.* 41.

le altre si aggiungono a quelle che si esercitano sul fondo, e quindi sul sostegno si esercita la somma di tutte queste pressioni; per ciò questo fondo sostiene una pressione maggiore di quella che gli farebbe subire il vase A, quantunque la pressione sul fondo sia eguale in ambedue i casi. All'opposto, siccome nel vase C le pressioni verticali essendo dirette in verso contrario delle pressioni sul fondo, al sostegno del vase non si trasmette che la differenza di queste pressioni; epperò questo sostegno subisce una pressione minore di quella che subbirebbe nel caso del vase A.

Questa contraddizione apparente fra la pressione esercitata sul fondo di un vase dal liquido che contiene e quella esercitata sul sostegno del vase si distingue col nome di *paradosso idrostatico.*

CONDIZIONI DI EQUILIBRIO DEI LIQUIDI.

86. Equilibrio di un liquido in un sol vase.— Perchè un liquido rimanga in equilibrio in un vase di forma qualunque, deve soddisfare alle due seguenti condizioni:

1.ª *La sua superficie, in ciascun punto, deve essere perpendicolare alla direzione della risultante delle forze che ne sollecitano le molecole:*

2.ª *Una molecola qualunque, presa nella massa, deve provare in tutti i versi pressioni eguali e contrarie.*

Per dimostrare la necessità della prima condizione, supponiamo che la superficie sia inclinata rispetto alla direzione della forza mp (fig. 42) che sollecita una molecola qualunque m della superficie medesima. Allora questa forza potrà decomporsi in due, l'una mq, perpendicolare

alla superficie del liquido, l'altra, *mf*, perpendicolare alla direzione *mp*. La prima di queste sarà distrutta dalla resistenza del liquido, mentre l'altra trascinerà la molecola nella direzione *mf*; quindi si scorge che l'equilibrio è impossibile.

Fig. 42.

Se la forza che sollecita il liquido è la sola gravità, la direzione *mp* è verticale, ed in tal caso, perchè sussista l'equilibrio, la superficie libera del liquido deve essere piana ed orizzontale (28), almeno se il liquido è contenuto in un vase od in un bacino di piccola estensione, poichè allora la direzione della gravità è in ogni punto la stessa. Ma una superficie liquida di grande estensione, come quella dei mari, non è più piana. Di fatti, siccome questa superficie deve essere in ogni luogo perpendicolare alla direzione della gravità, e questa cambia da un luogo all'altro, dirigendosi sempre assai prossimamente verso il centro della terra, ne risulta che la superficie dei mari cangia di direzione da luogo a luogo insieme colla gravità, ed assume una forma pressochè sferica.

Per provare sperimentalmente che il filo a piombo, in qualsiasi luogo, è perpendicolare alla superficie dei liquidi in equilibrio, tenendo in mano questo strumento, come nella figura 8, se ne fa immergere la palla in un vase pieno d'acqua, nella quale vedesi allora una immagine del filo situata nel prolungamento del medesimo, il che non accadrebbe se il filo a piombo non fosse perpendicolare alla superficie del liquido.

La seconda condizione è evidente per sè medesima, perchè se le pressioni che agiscono in versi contrarii sopra una molecola qualunque non fossero eguali e contrarie, la molecola stessa verrebbe trascinata nel verso della pressione maggiore e non vi sarebbe equilibrio. Del resto questa seconda condizione è una conseguenza del principio dell' uguaglianza di pressione e della reazione che ogni pressione fa nascere nella massa dei liquidi, e si potrebbe enunciarla dicendo che *in un liquido in equilibrio le pressioni verticali sono eguali su tutti i punti di una stessa sezione orizzontale.* Difatti, questa sezione, dietro quanto si vide più sopra, è parallela alla superficie libera del liquido e quindi tutte le sue molecole, trovandosi alla stessa profondità, sostengono pressioni eguali (80).

87. **Equilibrio di un liquido in diversi vasi comunicanti.** — Quando un liquido è contenuto in parecchi vasi di forma qualunque e comunicanti fra di loro non avvi equilibrio se non nel caso che il liquido, in ciascun vase soddisfaccia alle due condizioni precedenti (86) e, inoltre, *che le diverse superficie libere del liquido, in tutti i vasi, siano situate in uno stesso piano orizzontale.*

Infatti, se diversi vasi A, B, C, D comunicano fra loro (fig. 43), e nel tubo di comunicazione *mn* si immagina uno strato liquido verticale, questo srato non può restare in equilibrio se non quando le pressioni che esso sostiene da *m* verso *n* e da *n* verso *m* siano eguali e contrarie.

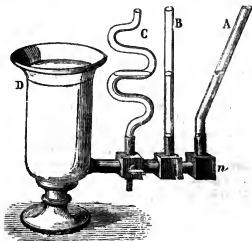



Fig. 43. (a = 38).

Ma si è veduto (83) che queste pressioni sono rispettivamente equivalenti al peso di una colonna liquida avente per base la sezione che si considera, e per altezza la verticale condotta dal suo centro di gravità alla superficie libera del liquido. Se dunque si immagina un piano orizzontale *mn* passante pel centro di gravità di questa sezione, si vede che l'equilibrio non può sussistere se non quando l'altezza del liquido al di sopra di questo piano sia la stessa in ciascun vase, ciò che dimostra il principio enunciato.

88. **Equilibrio dei liquidi sovrapposti.** — Quando diversi liquidi eterogenei sono sovrapposti in un medesimo vase, bisogna, perchè vi abbia equilibrio, che

ognuno di essi soddisfaccia alle condizioni che si richiederebbero per un solo liquido (86); inoltre, *perchè l'equilibrio sia stabile, i liquidi devono essere sovrapposti in ordine di densità decrescenti dal basso all'alto.*

Quest'ultima condizione si dimostra esperimentalmente per mezzo della *fiala dei quattro elementi.* Si chiama con questo nome una bottiglia lunga e stretta contenente mercurio, acqua saturata di carbonato di potassa, alcoole colorato in rosso ed olio di nafta. Quando si agita la bottiglia, i quattro liquidi si mescolano; lasciandola poscia in quiete, il mercurio, che è il più denso, precipita al fondo; indi, sopra al mercurio, si depositano successivamente l'acqua, l'alcoole e l'olio di nafta.

Tale è di fatti l'ordine delle densità decrescenti di questi corpi. Si satura l'acqua con carbonato di potassa perchè non si mescoli coll'alcoole, nel quale questo sale è insolubile.

La separazione dei liquidi, nell'esperimento precedente, dipende dalla stessa causa per la quale un solido immerso in un liquido di densità maggiore della propria (97) galleggia alla superficie del medesimo.

In conseguenza del principio di idrostatica ora enunciato, l'acqua dolce, all'imboccatura dei fiumi, sornuota per lungo tratto sull'acqua salata del mare, e la crema si separa lentamente dal latte, del quale è meno densa, e si porta alla superficie.

89. Equilibrio di due liquidi eterogenei in due vasi comunicanti. — Quando due liquidi di differenti densità, e che non esercitano l'uno sull'altro veruna chimica azione, sono contenuti in due vasi comunicanti, alle condizioni già note di equilibrio (86), bisogna aggiungere questa, che *le altezze delle colonne liquide, le quali si fanno equilibrio sono in ragione inversa delle densità dei due liquidi.*

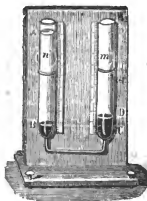



Fig. 44. ($a = 72$).

Per dimostrare questo principio coll'esperienza, si prende un tubo curvo *mn* fermato su di una assicella verticale (fig. 44), indi si versa del mercurio in uno dei rami del tubo, e dell'acqua nell'altro. Siccome la colonna di acqua AB esercita in B una pressione sul mercurio, così il livello di questo discende nel ramo AB e si

innalza nell'altro di una quantità CD; di maniera che, essendo stabilito l'equilibrio, se si immagina in B un piano orizzontale BC, la colonna di acqua AB fa equilibrio alla colonna di mercurio DC. Misurando allora le altezze DC e AB, per mezzo di due scale disposte parallelamente ai rami del tubo, si osserva che la prima è contenuta 13 volte e mezzo nell'altra. Ma si vedrà quanto prima che la densità del mercurio è 13 volte e mezzo quella dell'acqua: quindi le altezze sono in ragione inversa delle densità. Si comprende, di fatti, come, dovendo essere eguali le pressioni su di un medesimo piano orizzontale, BC, questo risultato non possa verificarsi se non si guadagna in altezza quanto manca in densità.

Si può dedurre il principio precedente da un calcolo semplicissimo. Infatti siano d e d' le densità dell'acqua e del mercurio, h e h' le altezze di questi liquidi, quando si fanno equilibrio, e, finalmente, g l'intensità della gravità. La pressione in B, essendo proporzionale alla densità del liquido sovrastante, alla sua altezza ed alla intensità della gravità, ha per misura il prodotto $d\ h\ g$. Per la medesima ragione, la pressione che si esercita in C ha per misura $d'\ h'\ g$. Ma quando avvi equilibrio, queste pressioni sono eguali: si ha quindi $d\ h\ g = d'\ h'\ g'$, ovvero, sopprimendo il fattore comune g $d\ h = d'\ h'$, cioè, $h : h' = d' : d$. Ora, quest' ultima eguaglianza non è che l'espressione del principio che trattavasi di dimostrare, perchè i due prodotti $d\ h$ e $d'\ h'$ dovendo sempre rimanere eguali fra loro, più d' sarà grande relativamente a d, e più h' sarà piccola relativamente ad h.

Questo principio di idrostatica può servire a determinare la densità di un liquido. Di fatti, supponiamo che mentre uno dei rami del tubo della figura 44 contiene dell'acqua e l'altro dell'olio, le altezze rispettive delle colonne liquide che si fanno equilibrio siano 38 centimetri per l'olio e 35 per l'acqua. Prendendo la densità dell'acqua per unità, e rappresentando con x quella dell'olio, si ha:

$$38 \times x = 35 \times 1 \text{ d'onde } x = \frac{38}{35} = 0,92$$

APPLICAZIONI DEI PRECEDENTI PRINCIPII DI IDROSTATICA.

90. **Torchio idraulico.** — Il principio dell'eguaglianza di pressione (79) ricevette una importante applicazione nel *torchio idraulico,* che fu immaginato da Pascal e costruito per la prima volta a Londra, nel 1796, da Bramah.

Quest' apparato, per mezzo del quale si possono pro-

durre enormi pressioni, è di ghisa, La figura 45 lo rappresenta nel suo complesso, e la figura 46 ne mostra una sezione verticale. In un corpo di tromba B, avente un grande diametro e pareti assai resistenti, può innalzarsi e discendere, a strofinamento dolce, un cilindro C, che fa l'ufficio di stantuffo. Questo cilindro porta una lastra K, la quale si innalza e discende con esso fra quattro colonne, che sostengono una lastra MN; questa poi è fissa, e fra

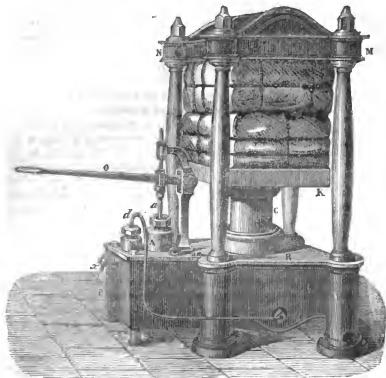



Fig. 45. ($a = 200$).

essa e la lastra K si collocano gli oggetti sui quali deve agire il torchio.

L'ascesa dello stantuffo C (fig. 46) si ottiene mediante una *tromba d'injezione* A, che aspira l'acqua da un serbatojo P e le spinge nel cilindro B. Lo stantuffo *a* di questa tromba è posto in azione per mezzo di una leva O. Quando lo stantuffo si innalza, la valvola S si apre e l'acqua entra nel corpo di tromba A; quando discende, questa valvola si chiude, ed una seconda valvola *m*, che

era chiusa durante l'escesa dello stantuffo, viene sollevata dalla pressione che subisce dal basso all'alto e l'acqua è spinta dal tubo *d* fin nel corpo di tromba B. È appunto allora che si guadagna tanto più in pressione quanto maggiore è la sezione dello stantuffo C relativamente a quella dello stantuffo *a*.

Avvi ancora un altro pezzo che merita d'esser descritto: un grosso cuojo, imbevuto d'olio e impermeabile all'acqua, il quale serve a chiudere perfettamente il corpo di tromba B. Questo cuojo, curvato sotto forma di un U rovesciato, si avvolge circolarmente in una cavità *n* praticata nella parte superiore della parete del corpo di tromba. Quanto più l'acqua trovasi compressa in questo corpo di tromba, tanto più fortemente questo cuojo si applica sulla parete del corpo di tromba e sullo stantuffo P, in maniera da impedire il passaggio dell'acqua.

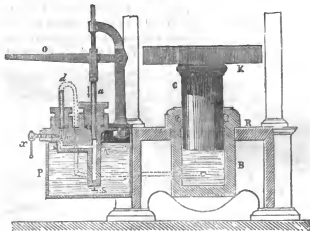



Fig. 46.

La pressione, che si può ottenere per mezzo del torchio idraulico, dipende dal rapporto della sezione dello stantuffo P a quella dello stantuffo *p*. Se la prima è 50 o 100 volte maggiore della seconda, la pressione sostenuta dal basso all'alto dallo stantuffo P sarà 50 o 100 volte maggiore di quella esercitata dallo stantuffo *p*. Inoltre si trae vantaggio anche dalla leva *m*. Se, per esempio, il braccio di leva della potenza è quintuplo di quello della resistenza, si ha il vantaggio del quintuplo (45). Quindi, se un uomo esercita in M uno sforzo di 30 chilogrammi, l'effetto trasmesso dallo stantuffo *p* sarà di 150 chilogrammi, e quello

che trasmetterà lo stantuffo P sarà 15,000 chilogrammi, supponendo che la sua sezione sia 100 volte quella dello stantuffo *p*.

Conviene notare che quanto più grande è il diametro dello stantuffo P, rispetto a quello dell'altro, tanto più lenta sarà la corsa del primo in confronto di quella del secondo, cioè che *quanto si guadagna in forza altrettanto si perde in velocità*; principio generale di meccanica, che si verifica in tutte le macchine.

Si trae profitto dal torchio idraulico in tutti i lavori nei quali sono necessarie grandi pressioni. Quest'apparato si adopera per sodare i panni, per estrarre il succo dalle barbabietole, l'olio dai semi oleosi; serve anche a far prova dei cannoni, delle caldaje a vapore e delle catene destinate alla marina.

91. **Livello ad acqua.** — Il livello ad acqua è una applicazione delle condizioni di equilibrio nei vasi comunicanti (88). Si compone di un tubo di latta o di ottone, piegato ad angolo alle due estremità, alle quali sono applicati due tubi di vetro D ed E (fig. 47). Per servirsi di

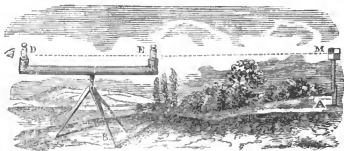



Fig. 47. ($l = 90$).

questo apparato, lo si dispone orizzontalmente su di un treppiede, e vi si versa dell'acqua fino a che il liquido ascenda nei due tubi di vetro. Quando l'equilibrio è stabilito, l'acqua trovasi allo stesso livello in questi due tubi, cioè le superficie del liquido in D ed in E sono in un medesimo piano orizzontale.

Questo strumento serve a fare delle livellazioni, cioè a determinare di quanto un punto è più elevato di un altro. Per esempio, se si vuole trovare di quanto un punto B del suolo è al di sopra di un altro punto A, si colloca in quest'ultimo punto una *biffa*. Chiamasi con questo nome un regolo di legno formato di due aste unite ad incastro

e terminato da una lastra M di latta, la quale porta al suo centro un segno. Collocata questa biffa verticalmente in A, un osservatore situato vicino al livello dirige, per i punti D ed E, un raggio visuale verso la biffa e fa segno ad un assistente, al quale è affidata, di allungarla o di accorciarla fino a tanto che il centro di essa si trovi sul prolungamento della linea DE. Misurando allora l'altezza AM e sottraendo da questa l'altezza del livello al di sopra del suolo, si conosce di quanto il punto B sovrasti al punto A.

Il livello determinato in questo modo è il *livello apparente* cioè quello che corrisponde a punti posti in un piano tangente alla superficie del globo, supposto perfettamente sferico. Il *livello vero* è quello che corrisponde a punti egualmente distanti dal centro della terra. Il livello apparente si confonde col livello vero soltanto per punti poco distanti fra loro.

92. **Livello a bolla d'aria.** — Il livello a bolla d'aria è più sensibile e più preciso del livello ad acqua. Consiste in un semplice tubo di vetro AB (fig. 48), ap-

Fig. 48.

Fig. 49.

pena sensibilmente curvato e che si riempie di acqua, lasciandovi soltanto una piccola bolla di aria, che tende sempre ad occuparne la parte più elevata (88). Questo tubo, saldato alla lampada alle due estremità, è racchiuso in una custodia di ottone GD (fig. 49). Quest'ultima è vincolata ad un sostegno pure di ottone, accuratamente disposto in modo che, quando appoggia su di un piano orizzontale, la bolla d'aria M si fermi precisamente fra due punti segnati sulla custodia.

Per fare delle livellazioni con quest'apparato lo si unisce con un cannocchiale, in modo che serva ad indicare le posizioni in cui il suo asse è orizzontale.

93. **Acque correnti, pozzi artesiani.** — I la-

ghi, i mari, le sorgenti, i fiumi sono altrettanti vasi comunicanti, nei quali le acque tendono continuamente a disporsi in uno stesso livello vero (91).

Altrettanto accade dei *pozzi artesiani*, così nominati perchè furono primieramente costrutti nell'antica provincia d'Artois, ove se ne trovano di quelli la cui origine sembra risalire alla fine del secolo XII (*). Ad un'epoca molto più lontana furono costruiti dei pozzi di questo genere nella China e nell'Egitto.

Questi pozzi sono fori assai ristretti, e di una profondità assai variabile, praticati per mezzo di una trivella. Le loro acque sono generalmente zampillanti. Per intenderne la teoria, bisogna sapere che fra i terreni, componenti la corteccia del globo, alcuni, per esempio, le sabbie e le ghiaje, sono permeabili alle acque, ed altri impermeabili, quali a cagione d'esempio le argille. Ciò posto, suppongasi che sotto un bacino geografico più o meno esteso si trovino due strati impermeabili AA, BB (fig. 50)

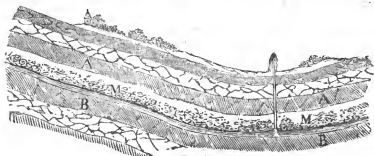



Fig. 50.

racchiudenti fra loro uno strato permeabile MM. Supponiamo, finalmente, quest'ultimo in comunicazione con terreni più elevati, a traverso dei quali si infiltri l'acqua delle pioggie. Queste acque, seguendo il declivio naturale del terreno, a traverso dello strato permeabile, arrivano al di sotto del bacino geografico supposto senza poter comunicare con esso, per l'interposizione dello strato impermeabile AA. Ma se, incominciando dal suolo, si pratica

(*) Questi pozzi dovrebbero a ragione essere chiamati *pozzi modonesi*, essendo noto che la città di Modena, a ricordanza della loro invenzione, aveva adottato nel suo stemma due trivelle ben molto tempo prima che i Francesi cominciassero ad eseguire le terebrazioni nell'Artois.

(*Nota dei Trad.*).

un foro che attraversi questo strato, le acque, tendendo sempre a mettersi allo stesso livello, salgono in questo foro ad una altezza tanto maggiore quanto più elevato è il terreno col quale comunicano.

Le acque che alimentano i pozzi artesiani provengono spesse volte da una distanza di 20 o 30 leghe. La profondità di tali pozzi varia colle località. Il pozzo trivellato di Grenelle è uno de' più ricchi e de' più profondi; esso ha la profondità di 548 metri, e dà per ogni minuto 3000 litri di acqua la quale, in tutte le stagioni, è a 27.° Dietro la legge dell'aumento di temperatura degli strati terrestri al di sotto del suolo (386), basterebbe che la profondità di questo pozzo fosse accresciuta di 150 metri perchè le sue acque uscissero a 32°, cioè alla temperatura ordinaria dei bagni.

CORPI IMMERSI NEI LIQUIDI.

94. Pressioni sostenute da un corpo immerso in un liquido. — La superficie di un corpo solido interamente immerso in un liquido sostiene, in qualsivoglia punto, delle pressioni che le sono rispettivamente perpendicolari e che crescono colla profondità. Se si immaginano tutte queste pressioni decomposte in pressioni orizzontali ed in verticali, le prime, in ogni sezione orizzontale, sono eguali e contrarie a due a due e, per conseguenza, si fanno equilibrio. Le pressioni verticali poi sono evidentemente ineguali e spingono il corpo immerso dal basso all'alto.

Fig. 51.

Immaginiamo, di fatti, un cubo immerso in una massa di acqua (fig. 51) e supponiamo, per maggiore semplicità, che le facce laterali del cubo siano disposte verticalmente. Queste pareti soggiaciono a pressioni eguali, poichè presentano eguali superficie, e si trovano ad eguali profondità (83). È d'altronde evidente che per due facce opposte le pressioni hanno direzioni contrarie, e quindi si fanno equilibrio. Ma se consideriamo le pressioni che si esercitano sulle facce orizzontali A e B, vediamo che la prima di queste facce è premuta dall'alto al basso dal peso

di una colonna d'acqua avente per base la faccia medesima e per altezza AD (80); e che del pari la faccia inferiore è spinta dal basso all'alto dal peso di una colonna d'acqua avente per base questa faccia e per altezza BD (81). Perciò il cubo tende ad essere sollevato dalla differenza di queste due pressioni, la quale è evidentemente eguale al peso di una colonna di acqua avente la medesima base e la medesima altezza del cubo; cioè, *questa pressione equivale al peso del volume di acqua spostata dal corpo immerso.*

Con un semplice ragionamento si può del pari dimostrare che un corpo di qualsiasi forma, immerso in un liquido, sostiene, dal basso all'alto, una pressione eguale al peso del liquido spostato. Di fatti, in una massa liquida in equilibrio, consideriamo una porzione di liquido di una forma qualunque, sferica, ovoidea, o irregolare, e supponiamola solidificata, senza che cangi di volume. È evidente che questa porzione solidificata sosterrà da parte della massa liquida le stesse pressioni di prima, e che, perciò, sarà ancora in equilibrio; il che non può aver luogo se non perchè sostiene dal basso all'alto una pressione eguale al suo peso. Ora, se al posto della parte solidificata si immagina un corpo di diversa sostanza, ma di eguale volume e forma, questo corpo sosterrà necessariamente le stesse pressioni cui soggiaceva il liquido solidificato, e quindi sarà esso stesso sottoposto ad una pressione verticale dal basso in alto, eguale al peso del liquido spostato.

95. **Principio di Archimede.** — Dietro quanto precede, ogni corpo immerso in un liquido è soggetto all'azione di due forze opposte: la gravità, la quale tende a farlo cadere, e la spinta del liquido, la quale tende a sollevarlo con uno sforzo eguale al peso del liquido spostato dal corpo. Il peso di quest'ultimo è quindi distrutto in totalità od in parte da questa spinta, d'onde si conchiude che *un corpo immerso in un liquido perde del proprio peso una parte eguale al peso del liquido spostato.*

Tale principio, il quale serve di base alla teoria dei corpi immersi e dei corpi galleggianti, è conosciuto sotto il nome di *principio di Archimede,* perchè fu scoperto da questo celebre geometra, morto a Siracusa 212 anni innanzi l'era cristiana.

Il principio di Archimede si dimostra sperimentalmente per mezzo della *bilancia idrostatica,* la quale è una bilancia

ordinaria, che ha i piatti muniti ciascuno di un uncino ed il giogo disposto in modo da potere essere sollevato ad arbitrio per mezzo di un'asta dentata, che si fa muovere con un piccolo rocchetto C (fig. 52). Un nottolino D trattiene l'asta dentata quando è stata sollevata. Spinto

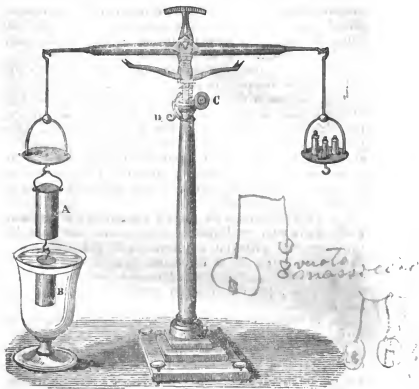



Fig. 52.

in alto il giogo, si sospende al di sotto di uno dei piatti un cilindro cavo A di ottone e inferiormente ad esso un cilindro massiccio B, il cui volume è esattamente uguale alla capacità del primo; indi si collocano nell'altro piatto dei pesi fino a che si stabilisce l'equilibrio. Se allora si abbassa il giogo in modo che il cilindro B si immerga interamente nell'acqua del vase collocato al disotto, l'equilibrio è tolto, ma, riempiendo di acqua il cilindro A, si vede ristabilirsi l'equilibrio. Quindi il cilindro B perde, in seguito alla sua immersione, una parte del suo peso

eguale al peso dell'acqua versata nel cilindro A. Così trovasi dimostrato il principio di Archimede, poichè la capacità di quest'ultimo cilindro è precisamente eguale al volume del cilindro B.

96. **Determinazione del volume di un corpo.** — Il principio di Archimede fornisce il mezzo di determinare con esattezza il volume di un corpo anche della forma più irregolare, quando esso non sia solubile nell'acqua. Per ciò lo si pesa dapprima nell'aria, indi nell'acqua distillata e a 4 gradi, sospendendolo per mezzo di un filo sottile alla bilancia idrostatica. La perdita di peso che allora si rileva è il peso dell'acqua spostata. Dal peso di quest'acqua si deduce il suo volume, che è evidentemente eguale a quello del corpo immerso. Si supponga, per esempio, la perdita di peso di 155 grammi. Questa perdita indica che l'acqua spostata pesa 155 grammi: ora, si sa che il grammo è il peso di un centimetro cubo di acqua distillata e a 4 gradi; quindi il volume dell'acqua spostata, e, per conseguenza, quello del corpo immerso, è di 155 centimetri cubi.

97. **Equilibrio dei corpi immersi e dei corpi galleggianti.** — Dalle considerazioni teoriche che ci condussero al principio di Archimede (94 e 95), risulta che se un corpo ha la medesima densità del liquido, in cui è immerso, la spinta tendente a sollevarlo è eguale al suo peso; per ciò il corpo rimane sospeso dovunque nel liquido.

Ma il corpo cade se è più denso del liquido, perchè il suo peso supera la spinta diretta dal basso all'alto.

Finalmente, se il corpo immerso è meno denso del liquido, prevale la spinta di quest'ultimo; il corpo acquista un moto ascensivo e si solleva in parte fuori del liquido finchè non ne sposti che un volume di peso eguale al proprio. Allora si dice che il corpo *galleggia*. La cera, il legno e tutti i corpi, comunemente detti più leggieri dell'acqua, galleggiano alla sua superficie.

Perchè un corpo, immerso o galleggiante, sia in equilibrio stabile, bisogna: 1.° *che il liquido spostato pesi quanto il corpo;* 2.° *che il centro di gravità del corpo si trovi al di sotto del centro di pressione* (83) *e sulla stessa verticale.* Di fatti, sia c il centro di pressione e g il centro di gravità di un corpo galleggiante (fig. 53): se le due condizioni precedenti sono soddisfatte, le forze applicate in c ed in g, essendo eguali e contrarie, si distruggono ed avvi

equilibrio. Inoltre, questo equilibrio è stabile perchè se si inclina il corpo, come mostra la figura 54, le forze applicate in *c* ed in *g* tendono evidentemente a ricondurlo alla stessa posizione di prima. Ma se il centro di pressione trovasi al di sotto del centro di gravità si può ottenere oltanto un equilibrio instabile allorquando i punti *g* e *c* ono nella stessa verticale, perchè, inclinando il corpo (fig. 55), le azioni delle due forze concorrono per farlo

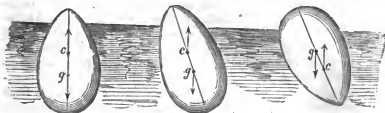



Fig. 53. *Fig.* 54. *Fig.* 55.

rovesciare e ricondurlo alla posizione indicata dalla figura 52. Nullameno, si dimostra in meccanica che può darsi l'equilibrio stabile quantunque il centro di pressione si trovi più basso del centro di gravità. Ma bisogna allora che quest'ultimo sia al di sotto di un certo punto che si chiama *metacentro*, e la cui posizione si determina per mezzo del calcolo. La cognizione di questi punti è di grande importanza per la disposizione della zavorra delle navi, perchè la loro stabilità dipende dalla relativa posizione di questi punti.

Secondo il principio di Archimede, i corpi galleggiano tanto più facilmente alla superficie dei liquidi quanto maggiore è la relativa densità di questi ultimi. Così, un uovo posto nell'acqua comune cade al fondo perchè a volume eguale pesa di più dell'acqua; immerso nell'acqua satura di sale vi galleggia. Un pezzo di quercia galleggia sull'acqua, ma si sommerge nell'olio. Una massa di di ferro galleggia in un bagno di mercurio, e nell'acqua cala a fondo immediatamente. Il volume della parte immersa dei corpi galleggianti è in ragione diretta della loro densità, ed in ragione inversa di quella del liquido.

98. **Diavolo di Cartesio.** — Gli effetti diversi di sospensione, di sommersione e di galleggiamento, in un liquido, sono riprodotti nel piccolo apparato che si chiama *Diavolo di Cartesio* (fig. 56). Esso è composto di una provetta di vetro piena in parte di acqua e sormontata da

un tubo di ottone, nel quale si trova uno stantuffo che si muove a mano e che chiude esattamente. Nel liquido evvi una figurina di smalto sostenuta da una bolla di vetro *a* contenente dell'aria e dell'acqua, e galleggiante alla superficie del liquido. Questa bolla ha nella sua parte inferiore una piccola apertura, per mezzo della quale l'acqua può entrare ed uscire, a norma che l'aria interna della bolla è più o meno compressa. La quantità di acqua previamente introdotta nella bolla è tale che l'apparato ha bisogno soltanto di un piccolissimo aumento di peso per sommergersi compiutamente. Perciò se si esercita colla mano una lieve pressione sullo stantuffo, come mostra la figura 55, l'aria sottoposta si trova compressa e trasmette la sua pressione all'acqua del vase e all'aria, che è nella bolla. Ne risulta che una certa quantità di acqua penetra in quest'ultima, e che il corpo galleggiante, aumentando di peso, si sommerge. Sollevando poi lo stantuffo, l'aria della bolla si dilata, scaccia l'eccesso di acqua, che vi è penetrata, ed il corpo sommerso, diventato più leggiero, galleggia nuovamente.

Fig. 56.

99. **Vescica natatoria dei pesci.** — Moltissime specie di pesci hanno nell'addome, al di sotto della spina dorsale, una vescica piena d'aria, e che si chiama *vescica natatoria*. Il pesce, comprimendola o dilatandolaper mezzo di contrazioni muscolari, fa variare il proprio volume e produce effetti analoghi a quelli che abbiamo notati nel diavolo di Cartesio, cioè scende o si innalza a piacimento nel seno delle acque.

100. **Nuoto.** — Siccome il corpo umano, a volume eguale, è generalmente più leggiero dell'acqua dolce, così può naturalmente galleggiare su questo liquido, e meglio ancora sull'acqua salata del mare che è più densa. Quindi la difficoltà del nuoto sta meno nel mantenersi alla superficie dell'acqua che nel poter tenere la testa fuori del

liquido onde respirare liberamente. Ora, nell'uomo, la testa ha un gran peso relativamente alle membra inferiori, e quindi tende a sommergersi, per ciò il nuoto è per l'uomo un'arte che vuol essere coltivata. Invece, nei quadrupedi la testa, avendo minor peso relativamente alla parte posteriore del corpo, può rimanere senza sforzo fuori dell'acqua; e però questi animali nuotano naturalmente.

PESI SPECIFICI, AREOMETRI A VOLUME COSTANTE.

101. **Determinazione dei pesi specifici.** — Abbiamo già veduto (11) che il peso specifico di un corpo solido o liquido è un numero che esprime quanto, a volume eguale, questo corpo pesi comparativamente all'acqua distillata ed a 4 gradi. Dietro questa definizione, per calcolare il peso specifico di un corpo, basta determinare il suo peso e quello di un egual volume di acqua, poi dividere il primo peso pel secondo; il quoziente è il peso specifico cercato relativamente all'acqua.

Per determinare i pesi specifici dei solidi e dei liquidi si usano tre metodi: il metodo della bilancia idrostatica, quello degli areometri e quello della boccetta. Tutti e tre riduconsi, come si è detto, a cercare dapprima il peso del corpo, indi quello di un volume eguale di acqua. Noi applicheremo ora successivamente questi diversi metodi alla determinazione dei pesi specifici dei solidi e dei liquidi.

102. **Pesi specifici dei solidi.** — 1.º *Metodo della bilancia idrostatica.* — Per determinare il peso specifico di un solido col mezzo di una bilancia idrostatica (fig. 54), si pesa dapprima questo corpo nell'aria, poscia, sospendendolo all'uncino della bilancia lo si pesa nell'acqua. La perdita di peso che allora si riconosce è, dietro il principio di Archimede, il peso di un volume di acqua eguale a quello del corpo; altro non resta che dividere il peso del corpo nell'aria per la perdita di peso che esso subisce nell'acqua: il quoziente è il peso specifico cercato (101).

Se P rappresenta il peso del corpo nell'aria, P′ il suo peso nell'acqua e D il suo peso specifico, siccome il peso dell'acqua spostata è $P - P'$, si ha

$$D = \frac{P}{P - P'}.$$

2.° *Metodo dell'areometro di Nicholson.* — *L'areometro di Nicholson* è un apparato galleggiante che serve a determinare i pesi specifici dei solidi. Esso risulta di un cilindro cavo B (fig. 57) di latta, terminato da un cono C pieno di piombo. Quest'ultimo serve a zavorrare l'apparato in modo che il suo centro di gravità si trovi al di sotto del centro di pressione, condizione necessaria acciò l'equilibrio sia stabile (97). Alla parte superiore l'apparato finisce con un'asta ed un piatto A; quest'ultimo è destinato a ricevere dei pesi ed il corpo del quale cercasi il peso specifico. Finalmente, sull'asta è tracciato in *o* un segno che dicesi *punto di affioramento* e che serve ad indicare un grado costante di immersione dell'apparato.

Fig. 57

Ciò posto, per determinare con questo strumento il peso specifico di un solido, si cerca innanzi tutto il peso che bisogna collocare sul piatto A perchè l'areometro si immerga sino al suo punto di affioramento; mentre, senza l'aggiunta di questo peso, ne sporge dall'acqua una porzione maggiore. Supponiamo che questo peso sia, per esempio, 125, grammi, ed ammettiamo inoltre che si tratti di trovare il peso specifico del solfo. Se ne prende un pezzo di un peso minore di 125 grammi, lo si colloca sul piatto A, indi si aggiungono dei grammi fino a tanto che l'areometro affiori di nuovo. Se bisogna aggiungere, per esempio, 55 grammi, è evidente che il peso del solfo è la differenza fra 125 e 55, cioè 70 grammi. Avendo così determinato il peso del solfo nell'aria, non resta più che trovare il peso di un volume di acqua eguale a quello del solfo. Per ciò si solleva l'areometro e si trasporta il pezzo di solfo dal piatto A sul piatto inferiore C in *m*, come mostra la figura. Il peso totale dello strumento non è cambiato, e tuttavia, immergendolo di nuovo, si vede che non affiora; ciò dipende da che il solfo, essendo ora sommerso, perde del suo peso una parte eguale al peso dell'acqua da esso spostata. Se allora si aggiungono dei pesi sul piatto superiore fintanto che lo strumento torni ad affiorare, per esempio, 34gr, 4, questo numero rappresenta il peso del volume d'acqua spostata, cioè del volume d'acqua eguale a quello del solfo. Dividendo allora 70gr,

peso del solfo nell'aria, per 34,4, si ottiene il peso specifico del solfo espresso da 2,03.

Se la sostanza di cui si cerca il peso specifico è più leggiera dell'acqua, essa tende a galleggiare e non può rimanere sul piatto inferiore C. Si adatta allora a quest'ultimo una reticella mobile di filo di ferro, la quale impedisce l'ascesa del corpo; la ricerca si compie del resto nel modo poc'anzi esposto.

3.° *Metodo della boccetta.* — Questo metodo è specialmente adoperato per i corpi in polvere, e non richiede che l'uso di una piccola bottiglia a larga apertura che si chiude con un turacciolo di vetro smerigliato. Questo turacciolo ha un canaletto che si prolunga in una tubulatura capillare terminata da un tubo di grande diametro (fig. 58). Su questa tubulatura è segnata una linea a; a ciascuna pesata si ha cura di riempiere d'acqua la bottiglia, in modo che il livello del liquido arrivi precisamente sino a questo punto. A tal uopo si immerge interamente la bottiglia nell'acqua e la si chiude mentre è così sommersa; allora trovandosi la bottiglia e la tubulatura compiutamente pieni, con un rotolo di carta asciugante si leva l'eccesso d'acqua sino al punto a. Allora dopo di aver pesata la polvere di cui si cerca il peso specifico, la si colloca su di uno dei piatti di una bilancia insieme colla piccola bottiglia ora indicata, piena affatto di acqua, chiusa ed asciugata esteriormente con diligenza; indi si determina la tara collocando nell'altro piatto dei pallini di piombo. Fatto ciò, si leva la bottiglia dal piatto, se ne toglie il turacciolo, e vi si versa entro la polvere. Si ripone il turacciolo, usando l'avvertenza che non rimanga punto di aria nella bottiglia, la quale si colloca nuovamente nel piatto, su cui era stata posta dapprima. Non avvi più equilibrio, perchè la polvere ha scacciata dalla bottiglia una certa quantità di acqua. Si aggiungano allora dei pesi sullo stesso piatto, fintanto che il giogo della bilancia riprenda la sua posizione orizzontale; il numero dei grammi aggiunti rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della polvere. Resta soltanto a fare il calcolo come nei due metodi precedenti.

Fig. 58.

In quest'esperimento è importante di espellere la pic-

cola quantità di aria che aderisce sempre alle particelle dei corpi in polvere, e per cui spostano un volume di acqua maggiore del proprio. A quest'uopo, versata la polvere nell'acqua della bottiglia, si colloca quest'ultima sotto la campana della macchina pneumatica e si fa il vuoto; allora l'aria si sviluppa in virtù della sua forza elastica. Si conseguirebbe il medesimo risultato facendo bollire l'acqua nella quale è immerso il corpo in polvere.

103. **Corpi solubili nell'acqua.** — Quando il corpo di cui si cerca il peso specifico con uno dei tre metodi che abbiamo presi in considerazione fosse solubile nell'acqua, se ne determinerebbe il peso specifico relativamente ad un liquido nel quale fosse insolubile, per esempio, l'alcoole. Indi cercando, per mezzo di uno dei processi che ora descriveremo, il peso dell'alcoole relativamente all'acqua, si ottiene il peso specifico della sostanza data, moltiplicando il suo peso specifico relativamente all'alcoole per quello di questo liquido relativamente all'acqua.

Siano, difatti, P il peso della sostanza, P' quello dell'alcoole, P'' quello dell'aequa e corrispondenti a volumi eguali; $\frac{P}{P'}$ sarà il peso specifico della sostanza relativameute all'alcoole, e $\frac{P}{P''}$, quello dell'alcoole relativamente all'aequa. Ora il prodotto di qneste due frazioni, traseurando il fattore comune P', è $\frac{P}{P''}$, il quale effettivamente rappresenta il peso speeifico della sostanza relativamente all'aequa.

Pesi specifici di alcuni solidi a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata e a 4 gradi, preso per unità.

Platino laminato	23,000	Marmo statuario	2,837
— fuso	19,500	Cristallo di rôcea puro	2,653
Oro lavorato a martello	19, 62	Vetro di Saint Gobain	2,488
— fuso	19,258	Poreellana della China	2,385
Piombo fuso	11,352	— di Sèvres	2,146
Argento fuso	10,474	Solfo nativo	2,033
Bismuto fuso	9,822	Avorio	1,917
Rame passato alla trafila	8,878	Antraeite	1,800
— fuso	8,788	Carbone fossile compatto	1,329
Ottone	8,383	Suceino	1,078
Aeciaio non inerudito	7,816	Ghiaccio fondentesi	0.930
Ferro in isprangbe	7,788	Faggio	0,852
— fuso	7,207	Frassino	0,845
Ghisa	7,053	Tasso	0.807

Stagno fuso	7,291	Olmo	0,800
Zinco fuso	6,861	Pomo	0,733
Antimonio fuso	6,712	Abete giallo	0,657
Diamanti (i più pesanti)	3,531	Pioppo bianco di spagna	0,529
— (i più leggieri)	3,501	— comune	0,339
Flint-Glass	3,329	Sughero	0,240

104. **Pesi specifici dei liquidi**. — 1.º *Metodo della bilancia idrostatica.* Si sospende all'uncino di uno dei piatti della bilancia idrostatica un corpo sul quale il liquido, di cui si cerca il peso specifico, non eserciti alcuna azione chimica, per esempio una sfera di platino. Pesando successivamente questa sfera nell'aria, nell'acqua distillata presa a 4 gradi, poi nel liquido dato, si nota la perdita di peso che esso subisce nell'acqua e nel secondo liquido, e si ottengono così due numeri i quali rappresentano i pesi di volumi eguali di acqua e del liquido dato; basta allora dividere il secondo peso per il primo.

Siano P il peso della sfera di platino nell'aria; P' il suo peso nell'acqua, P'' il suo peso nel secondo liquido, e D il peso specifico di quest'ultimo: il peso dell'acqua spostata dalla sfera è $P - P'$, e quello del secondo liquido $P - P''$, d'onde $D = \frac{P - P''}{P - P'}$.

2.º *Metodo dell'areometro di Fahrenheit.* — L'areometro di Fahrenheit (fig. 59) è un galleggiante destinato determinare i pesi specifici dei liquidi. La sua forma è analoga a quella dell'areometro di Nicholson; ma alla parte inferiore è privo di piatto, e si costruisce di vetro per poterlo collocare in qualunque liquido. Anche sull'asta di questo apparato trovasi un punto di affioramento destinato a far conseguire un grado costante di immersione. Finalmente, alla sua parte inferiore porta una piccola bolla piena di mercurio, la quale serve di zavorra e produce un equilibrio stabile.

Fig. 59 ($a = 25$).

Prima di servirsi di quest'areometro, se ne determina il peso con esattezza; indi, facendolo galleggiare in una provetta piena d'acqua, si aggiungono dei pesi nella capsula superiore finchè il punto di affioramento si trovi a livello dell'acqua. In questo stato, il peso dall'areometro,

aggiunto al peso che si trova nella capsula, rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della parte immersa dello strumento, come risulta dalla prima condizione di equilibrio dei corpi galleggianti (97). Determinando similmente il peso di un egual volume del liquido di cui si cerca il peso specifico, non si ha più che a dividere il secondo peso per il primo.

L'areometro di Fahrenheit, al pari di quello di Nicholson, non offre la stessa precisione della bilancia idrostatica per la determinazione dei pesi specifici.

3.º *Metodo della boccetta.* — Questo metodo consiste nel prendere una piccola bottiglia di vetro, simile a quella che si adopera per i pesi specifici dei solidi (fig. 58), nel pesarla vuota di ogni liquido, indi piena d'acqua ed in seguito piena del liquido di cui si cerca il peso specifico. Sottraendo allora il peso del vetro da quello ottenuto in ciascuna delle due ultime pesate, si hanno i pesi di eguali volumi di acqua e del liquido dato; d'onde si deduce il peso specifico cercato.

105. **Temperatura da osservarsi nella ricerca dei pesi specifici.** — Siccome il volume dei corpi aumenta colla temperatura, e siccome quest'aumento varia da un corpo all'altro, ne risulta che il peso specifico di una sostanza qualunque non è rigorosamente lo stesso a temperature diverse. Per ciò si dovette scegliere una temperatura costante per la determinazione dei pesi specifici. Si è dunque convenuto che l'acqua debba trovarsi a 4 gradi, essendo questa la temperatura alla quale corrisponde la sua massima densità. Quanto agli altri corpi, solidi o liquidi, si soppone che siano a zero. Generalmente, quando si determina un peso specifico, queste condizioni non si trovano adempite; epperò nello studio del calorico indicheremo quali correzioni debbansi fare per riportare il peso specifico a queste temperature.

Pesi specifici di alcuni liquidi a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata e a 4 gradi, preso per unità.

Mercurio	13,589	Acqua distillata e a 4°	1,000
Acido solforico	1,841	— — 0	0,999
— cloridrico	1,240	Olio d'oliva	0,915
— azotico	1,217	Essenza di trementina	0,870
Latte	1,030	Olio di nafta	0,847
Acqua di mare	1,026	Alcoole assoluto	0,792
Vino di Bordeaux	0,994	Etere solforico	0,715

106. **Usi delle tavole dei pesi specifici.** — Le

tavole dei pei specifici si prestano a numerose applicazioni. In mineralogia forniscono un carattere distintivo per riconoscere lo specie minerali dietro la rispettiva densità. Servono inoltre a trovare il peso di un corpo di cui si conosca il volume, o, reciprocamente, a calcolarne il volume, quando ne sia dato il peso.

Difatti, il grammo ed il chilogrammo essendo rispettivamante il peso di un centimetro e di un decimetro cubi di acqua, ne risulta che un volume di acqua, misurato in centimetri cubi, pesa tanti grammi quanti centimetri contiene, e se il volume è misurato in decimetri cubi, l'acqua pesa tanti chilogrammi quanti sono i decimetri. Si ha quindi, per l'acqua, la formola $P = V$, purchè si computino i pesi in grammi od in chilogrammi, secondo che il volume è valutato in centimetri od in decimetri cubi. Ciò posto, siccome il peso specifico di un corpo non è altro che un numero il quale dinota quanto pesi questo corpo relativamente all'acqua, così un corpo, di un peso specifico due, tre volte maggiore di quello dell'acqua, pesa anche due, tre volte di più. Per conseguenza, se si rappresenta con D il peso specifico, la formola $P = V$ si cangia, per un corpo diverso dall'acqua, in $P = VD$: cioè, *il peso relativo di un corpo è eguale al prodotto del suo volume per il suo peso specifico.*

Dalla formola $P = VD$, si deduce $V = \frac{P}{D}$; formola che dà il volume in centimetri o in decimetri cubi, secondo che il peso è espresso in grammi od in chilogrammi.

Per mezzo della formola $P = VD$, è facile calcolare il diametro interno di un tubo di vetro. A questo scopo si introduce nel tubo una colonna di mercurio della quale si misurano con precisione la lunghezza ed il peso. Potendosi considerare questa colonna di mercurio siccome sensibilmente cilindrica, se chiamasi r il raggio interno del tubo, l la sua altezza, π il rapporto della circonferenza al diametro, si ha dalla geometria $V = \pi r^2 l$. Sostituendo a V questo suo valore nell'eguaglianza $P = VD$, risulta

$$P = \pi r^2 l D;\ \text{d'onde}\ r = \sqrt{\frac{P}{\pi l D}}$$

Si calcolerebbe in una maniera analoga il diametro di un filo metallico assai sottile.

La formola $P = VD$, di cui abbiamo ora fatto uso, serve a trovare il peso relativo di un corpo, mentre le formole $P = VDg$ e $P = Mg$ date precedentemente (41) ne rappresentano il peso assoluto.

AREOMETRI A VOLUME VARIABILE.

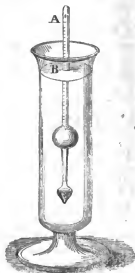
107. **Diverse specie di areometri.** — Gli areometri di Nicholson e di Fahrenheit fino ad ora descritti sono chiamati a *volume costante* ed *a peso variabile*, perchè

si fanno costantemente immergere sino ad un dato punto, aggiungendovi dei pesi che variano a norma dei solidi o dei liquidi sottoposti all'esperimento. Ma si costruiscono anche degli areometri *a volume variabile* ed *a peso costante*; cioè che non hanno un punto fisso di affioramento e che conservano costantemente il medesimo peso. Questi apparati, distinti coi nomi di *pesa-sali, pesa-acidi, pesa-liquori*, non sono destinati a misurare i pesi specifici dei liquidi, ma a far conoscere se le soluzioni saline, gli acidi, gli alcooli sono più o meno concentrati.

108. **Areometro di Baumé**. — Baumé, farmacista a Parigi, morto nel 1804, costrusse un areometro a peso costante. Quest'areometro, di un uso frequentissimo, è un galleggiante di vetro, rappresentato dalla figura 60, risultante di un cannello AB al quale sono unite due bolle; una di esse è alquanto grossa e piena d'aria, mentre l'altra, posta al di sotto, è più piccola, piena di mercurio e serve di zavorra.

Fig. 60 ($a = 26$).

Questo strumento viene graduato in due maniere, secondo che deve essere immerso nei liquidi più densi o nei meno densi dell'acqua. Nel primo caso se ne regola il peso di maniera che, nell'acqua distillata e a 4 gradi, si immerga sino ad un punto A situato presso a poco alla estremità superiore del suo cannello, al qual punto si segna 0. Per compierè la graduazione, si fa una soluzione di 85 parti d'acqua, in peso, e di 15 di sal marino. Essendo questa soluzione più densa dell'acqua pura, l'apparato vi si immerge soltanto fino ad un punto B, ove si segna 15. Dividendo finalmente l'intervallo fra i punti A e B in 15 parti eguali e continuando queste divisioni sino alla estremità inferiore del cannello, lo strumento è graduato. Le divisioni si segnano su di una piccola lista di carta, che si pone nell'interno del cannello.

L'areometro così costrutto può essere adoperato soltanto per i liquidi più densi dell'acqua, come gli acidi e le soluzioni saline; questo strumento è in pari tempo un pesa-acidi ed un pesa-sali. Siccome per i liquidi meno densi

dell'acqua bisogna che lo zero sia alla estremità inferiore del cannello, la graduazione si fa in modo diverso; Baumé segnò 0 al punto di affioramento dell'apparaio immerso in una soluzione di 90 parti, in peso, di acqua con 10 parti di sal marino, e 10 al punto di affioramento nell'acqua distillata. In seguito, dividendo l'intervallo fra questi due punti in 10 parti eguali e continuando le divisioni sino all'apice del cannello, l'istrumento è terminato ;è il pesa-liquori.

I due areometri che abbiamo ora descritti, dovuti entrambi a Baumé, sono graduati in un modo affatto arbitrario e non indicano nè la densità dei liquidi, nè la quantità dei sali che trovansi in soluzione. Nondimeno, sono adoperati con vantaggio per riconoscere quando una soluzione salina od acida è stata portata ad un dato punto di concentrazione. In una parola, essi offrono dei punti determinati per mezzo dei quali si riproducono rapidamente delle mescolanze e delle soluzioni in date proporzioni, non con precisione, ma con una approssimazione sufficiente in un gran numero di casi. Per esempio, nella fabbricazione dei siroppi ordinarj è stato riconosciuto, per esperienza, che il pesa-sali di Baumé in un siroppo ben preparato, deve segnare, a freddo, 35. È dunque questo uno strumento col quale il fabbricatore può facilmente rilevare il grado di concentrazione del suo siroppo. Parimenti nell'acqua di mare, alla temperatura di 22 gradi, il pesa-sali di Baumé segna 3; d'onde una vantaggiosa indicazione pei bagni salati che si usano in certe malattie. In generale però le proporzioni di sal marino prescritte dai medici sono molto inferiori a quelle che l'areometro indica nell'acqua di mare; cioè i bagni salsi artificiali sono meno ricchi di sale che non l'acqua di mare, e perciò meno efficaci.

109. Alcoometro centesimale di Gay-Lussac. — L'alcoometro di Gay-Lussac è uno strumento destinato a misurare la *forza* dei liquidi spiritosi alla temperatura di 15 gradi, cioè le *centesime parti di alcoole puro*, in volume, contenute in questi liquidi ed alla accennata temperatura.

La forma dell'alcoometro è affatto simile a quella dell'areometro di Baumé (fig. 60), ma ne diversifica per la graduazione. La scala collocata sull'asta è divisa in 100 parti o gradi, ciascuna delle quali rappresenta un centesimo di alcoole in volume; la divisione 0 corrisponde

all'acqua pura e la divisione 100 all'alcoole puro. Immerso in un liquido spiritoso alla temperatura di 15 gradi, l'alcoometro ne fa immediatamente conoscere la forza. Per esempio, se alla temperatura indicata, l'alcoometro in una acquavita si sommerge sino alla divisione 48, si ha l'indizio che la forza di questo liquido è di 48 centesimi, cioè che esso contiene 48 centesimi del suo volume di alcoole puro ed il resto di acqua, poichè si sa che i liquidi, conosciuti nel commercio sotto i nomi di *acquavite* e di *spiriti*, sono mescolanze di acqua e di alcoole.

Per graduare l'alcoometro si immerge successivamente questo strumento entro mescolanze di alcoole e di acqua in determinate proporzioni. Ma perchè la graduazione sia esatta, bisogna tener conto della contrazione di volume che subiscono l'alcoole e l'acqua allorchè vengono mescolati. A quest'uopo si prende una provetta con piede, graduata in 100 parti eguali, vi si versa dell'alcoole assoluto sino alla divisione 95, indi la si riempie fino a 100 con acqua distillata. Avendo così una mescolanza la, quale contiene in volume 95 per 100 di alcoole assoluto, vi si immerge lo strumento e si segna 95 al punto d'affioramento. Si vuota allora la provetta, vi si versano 90 di alcoole, poi la si riempie fino a 100 con acqua distillata, con che si ottiene una mescolanza contenente 90 per 100 di alcoole assoluto e si continua così di 5 in 5 usando l'avvertenza di immergere ciascuna volta lo strumento nelle diverse mescolanze e di segnare successivamente sull'asta 90, 85, 80.... Dividendo finalmente gli intervalli di 5 in 5 in cinque parti eguali, lo strumento è graduato.

Importa osservare che la graduazione dell'alcoometro essendo fatta alla temperatura di 15 gradi, le sue indicazioni sono precise soltanto a questa temperatura. Difatti, a temperature più elevate o più basse i liquidi si dilatano o si contraggono, e l'alcoometro si sommerge più o meno, ossia il calore altera simultaneamente il volume del liquido spritoso e le indicazioni dell'alcoometro; d'onde due cause d'errore, le quali riunite, dalla temperatura 0 sino a 30 gradi, possono dare una differenza di più del 12 per 100 del valore del liquido. Per correggere questi due errori, Gay-Lussac costruì delle tavole, le quali in una colonna verticale contengono la temperatura da 0 a 30 gradi ed in una colonna orizzontale i gradi dell'areometro da zero a 100. Oltre a ciò, come nella tabella della

moltiplica comune, al punto di incontro della verticale abbassata dalla casella contenente i gradi alcoometrici all'orizzontale che parte dalla casella in cui sono segnati i gradi del termometro, si trova il numero indicante la effettiva ricchezza del liquido spiritoso. Per esempio, essendo uno di questi liquidi alla temperatura di 22 gradi, e l'alcoometro segnando in esso 36, si trova nella casella che la ricchezza reale di questo liquido, ridotto a 15 gradi è 33, cioè che contiene 33 centesimi del suo volume di alcoole, e quindi 67 centesimi di acqua.

110. **Pesa-sali graduati sul principio dell'alcoometro centesimale.** — Dietro il principio della graduazione dell'alcoometro centesimale si costruiscono anche dei pesa-sali, che fanno conoscere la quantità in peso di tale o tal altro sale contenuta in una soluzione. Lo zero di tutti questi strumenti corrisponde all'acqua pura, e la loro graduazione si effettua facendo sciogliere 5, 10, 15, 20,... grammi dal sale dato in 95, 90, 85, 80.... grammi di acqua, fino a saturazione della soluzione. Si immerge lo strumento successivamente in queste soluzioni, si segna 5, 10, 15, 20.... ai diversi punti di affioramento, e finalmente si divide ciascun intervallo in 5 parti eguali.

Però, ciascuno di questi strumenti non serve che per una sola qualità di sale. Quello, per esempio, che fosse stato graduato per l'azotato di potassa, fornirebbe indicazioni interamente false in una soluzione di carbonato di potassa o di qualsiasi altro sale.

Dietro il medesimo principio si costrussero dei *pesa-latte*, dei *pesa-vini* destinati a misurare la quantità di acqua che la frode può aver introdotta in questi liquidi. Ma tali strumenti non hanno una reale utilità, perchè, essendo variabilissima la densità del latte e del vino, anche quando non furono soggetti ad alcuna sofisticazione, si potrebbe attribuire alla frode ciò che dipendesse unicamente dalla cattiva qualità naturale di questi liquidi. Molti medici adoperano i *pesa-orine*, fondati sul medesimo pricipio.

111. Densimetri — I *densimetri* sono areometri graduati in modo da far conoscere la densità relativa di un liquido dietro il loro grado di immersione. Qui descriveremo quello di Gay-Lussac e l'altro inventato recentemente da Rousseau.

1.° *Densimetro o volumetro di Gay-Lussac.* — Il densimetro di Gay-Lus-

sac è affatto simile all'areometro di Baumé rappresentato dalla figura 61; ne differisce soltanto per la graduazione, la quale varia a norma che l'apparecchio è destinato pei liquidi più densi o pel meno densi dell'acqua. Nel primo caso, bisogna caricarlo di zavorra in modo che nell'acqua pura si immerga sino ad un punto A (fig. 61) situato alla estremità superiore del cannello. Scelto poscia un liquido la cui densità sia conosciuta, e maggiore di quella dell'acqua, per esempio, $\frac{4}{3}$, si fa galleggiare in esso l'apparato, il quale si sommerge soltanto fin ad un certo punto B del cannello. Ora, se si rappresentano con V e v i volumi immersi rispettivamente nell'acqua e nel secondo liquido, questi volumi, essendo in ragione inversa delle densità di questi liquidi (97), si ha $V : v = \frac{4}{3} : 1$, ossia $V : v = 4 : 3$; d'onde $v = \frac{3}{4}$ V.

Se, adunque, si rappresenta con 100 il volume V, il volume v sarà rappresentato da 75. Per conseguenza, si segnano rispettivamente ai punti A e B i numeri 100 e 75; siccome poi il volume AB, giusta il valore di v, è il quarto di V, si divide l'intervallo AB in 25 parti eguali, ed ognuna di queste parti è $\frac{1}{25}$ di AB, o $\frac{1}{100}$ di V, cioè del volume che si immergerebbe nell'acqua pura. Finalmente, si continuano le divisioni fino alla parte inferiore del cannello, il quale deve essere precisamente di egual diametro in tutta la sua lunghezza.

Fig. 61.

Ciò posto, per conoscere la densità di un liquido, per esempio dell'acido solforico, basta immergervi il densimetro, e se affiora alla 54ma divisione, vuol dire che il volume del liquido spostato è rappresentato da 54, mentre il volume d'acqua V è rappresentato da 100. Ora, siccome ogni corpo galleggiante sposta un peso di liquido eguale al proprio (97), ne segue che il volume di acqua V, 100, ed il volume di acido solforico 54 hanno il medesimo peso, cioè quello dello strumento. Ma, a pesi uguali, i volumi di due corpi sono evidentemente in ragione inversa delle loro densità; per conseguenza, se si rappresenta con x la densità dell'acido solforico, essendo 1 quella dell'acqua, si ha l'eguaglianza $\frac{x}{1} = \frac{100}{54}$ d'onde $x \frac{100}{54} = 1,85$.

Se il densimetro è destinato per liquidi meno densi dell'acqua, bisogna zavorrarlo in modo che il punto 100, corrispondente all'acqua distillata, si trovi alla parte inferiore del cannello. Si fissa poscia alla estremità superiore del medesimo un peso eguale al quarto di quello dello strumento. Ora, essendo stato rappresentato da 100 il peso dello strumento, quando era solo, il suo peso totale è attualmente 125. Si segna quindi quest'ultimo numero in corrispondenza al nuovo punto di affioramento, poi si divide l'intervallo fra i punti 100 e 125 in 25 parti eguali, e si continuano le divisioni sino all'apice del cannello.

2.° *Densimetro di Rousseau.* — Il densimetro di Gay-Lussac richiede una

quantità di liquido sufficiente per riempire una provetta di una capacità alquanto grande. Ora, in certe ricerche, per esempio, in quelle che si fanno nella fisiologia sopra liquidi animali, può accadere che si abbiano soltanto alcuni grammi di materia. In questo caso, per determinare la densità serve meglio il densimetro di Rousseau. Questo strumento ha la forma dell'areometro di Baumé; ma l'estremità superiore del cannello porta una piccola capsula A (fig. 62) destinata a ricevere il liquido di cui si cerca la densità. Sulla parete di questa capsula avvi un segno indicante una capacità AC di un centimetro cubo.

Fig. 62 ($a = 30$).

Ciò posto, per graduare lo strumento, bisogna caricarlo di zavorra in modo che, nell'acqua distillata a 4 gradi, il suo punto di affioramento si trovi in B, all'origine del cannello; questo punto è lo zero dello strumento. Si riempie successivamente di acqua distillata e a 4 gradi la capacità di un centimetro cubo segnata sulla capsula, o, ciocchè torna lo stesso, vi si pone un peso di un grammo, indi al nuovo punto di affioramento si scrive il numero 20. Si divide allora l'intervallo fra 0 e 20 in 20 parti eguali, e con ritinuano le divisioni sino all'apice dell'asta. Essendo questa precisamente del medesimo diametro in tutta la sua lunghezza, ogni divisione corrisponde ad 1/20 di grammo, ossia a 0, 05 gr.

Fatta questa graduazione, se si vuole ottenere la densità di un liquido, per esempio della bile, se ne riempie la capacità AC segnata sulla capsula, e se lo strumento affiora a 20 divisioni e mezzo, se ne deduce che il peso della bile contenuta nella capsula è di gr. $0{,}05 \times 20{,}5$ o gr. 1,025; cioè che, a volume eguale, essendo 1 il peso dell'acqua, quello della bile è 1,025. Quest'ultimo numero rappresenta dunque la densità della bile relativamente all'acqua: perchè, sotto eguale volume, i pesi sono nel medesimo rapporto delle densità.

CAPITOLO II.

CAPILLARITÀ, ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE.

112. Fenomeni capillari. — Nel contatto dei solidi coi liquidi si produce una serie di fenomeni, ai quali è stato applicato il nome di *fenomeni capillari*, perchè si osservano specialmente nei tubi di un diametro tanto piccolo da poter essere paragonato a quello di un capello. La parte della fisica che ha per oggetto lo studio dei fenomeni capillari si distingue col nome di *capillarità*. Questa espressione però si applica anche alla forza produttrice di così fatti fenomeni.

Gli effetti della capillarità sono svariatissimi; ma, in ogni caso, vengono prodotti dalla mutua attrazione delle molecole liquide e da quella che si esercita fra queste molecole ed i corpi solidi. Tali sono i fenomeni seguenti:

Quando si immerge un corpo solido in un liquido che lo possa bagnare, il liquido, come se non fosse sottoposto alle leggi dell'idrostatica, si solleva intorno al solido e la sua superficie, cessando di essere orizzontale, assume una forma concava, come dimostra la fig. 63.

Invece, se il corpo immerso non è bagnato dal liquido, come accade del vetro a contatto col mercurio, il liquido, anzichè elevarsi, si deprime e la sua superficie prende una forma convessa intorno al corpo immerso, come dimostra la fig. 64. La superficie del liquido diventa parimenti concava o convessa presso le pareti del vase che lo contiene, secondo che le bagna o non le bagna.

Questi fenomeni si ottengono più manifesti, quando invece di un corpo massiccio si immergono nei liquidi dei tubi di vetro di piccolo diametro. A seconda che questi tubi vengono o no bagnati dal liquido, si produce un innalzamento od una depressione tanto maggiori quanto è più piccolo il diametro, fig. 65 e 66.

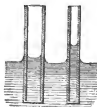



Fig. 63. *Fig* 64. *Fig.* 65. *Fig.* 66.

La superficie del liquido, quando i tubi ne vengono bagnati, prende la forma di un segmento emisferico concavo, che si chiama *menisco concavo* (fig. 65); quando i tubi non ne sono bagnati, si forma un *menisco convesso*, (fig. 66).

113. Leggi dell'innalzamento e della depressione nei tubi capillari — Gay-Lussac ha dimostrato coll'esperienza che l'innalzamento e la depressione dei liquidi nei tubi capillari sono sottoposti alle tre leggi seguenti:

1.° *Accadè innalzamento quando il liquido bagna i tubi, e depressione quando non li bagna;*

2.° *Quest'innalzamento e questa depressione sono in ragione inversa dei diametri dei tubi, quando questi diametri non sorpassino 2 o 3 millimetri;*

3.° *L'innalzamento e la depressione variano colla natura del liquido e colla temperatura, ma sono indipendenti dalla sostanza dei tubi e dalla grossezza delle loro pareti, ove queste siano state previamente bagnate.*

Tutte queste leggi si verificano tanto nel vuoto come nell'aria.

Nell'uso di parecchi strumenti è necessario conoscere il valore della depressione del mercurio entro i tubi di vetro. La seguente tavola dà i valori delle depressioni nei tubi aventi da 2 a 10 millimetri di diametro.

Diametri dei tubi in millimetri	Depressioni in millimetri.	Diametri dei tubi in millimetri	Depressioni in millimetri
2	4,454	6,5	1,030
2,5	3,568	7	0,909
3	2,918	7,5	0,803
3,5	2,442	8	0,712
4	2,068	8,5	0,632
4,5	1.774	9	0,562
5	1,534	9,5	0,500
5,5	1,357	10	0,445
6	1,171		

Nondimeno queste depressioni possono variare, per uno stesso tubo, colla convessità del mercurio, la quale è maggiore o minore secondo la purezza del mercurio e secondo che il mercurio si ferma durante un movimento ascendente o discendente nel tubo.

114. **Leggi dell'innalzamento e della depressione fra due lamine parallele od inclinate.** — Fra due corpi di forma qualunque immersi in un liquido, quando siano sufficientemente avvicinati, si producono fenomeni analoghi a quelli che presentano i tubi capillari. Per esempio, se si immergono nell'acqua due lamine di vetro parallele, vicine in modo che si congiungano le due curvature formate dal liquido al loro contatto, si osserva: 1.° che *l'acqua s'innalza regolarmente fra le due lamine, in ragione inversa dell'intervallo che le separa*; 2.° che *l'altezza a cui arriva, per un dato intervallo, è la metà di quella cui giungerebbe in un tubo il quale avesse un diametro eguale a quest'intervallo.*

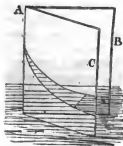



Fig. 67. *Fig.* 68. *Fig.* 69.

Se le lamine parallele sono immerse nel mercurio, accade depressione: ma questa depressione segue le medesime leggi.

Immergendo due lamine di vetro AB e AC inclinate fra loro, come rappresenta la figura 67, in un liquido che le bagni, in modo che la loro li-

nea di contatto sia verticale, il liquido si innalza verso il vertice dell'angolo delle due lamine, e la sua superficie, dal punto più alto al più basso, assume la forma della curva conosciuta in geometria sotto il nome di *iperbole equilatera*.

Quando la linea di contatto delle due lamine è orizzontale, come avverrebbe nelle lamine rappresentate dalle figure 68 e 69, supposto che si prolungassero, se nello stesso tempo l'angolo che formano è piccolissimo, una goccia d'acqua posta fra di esse assume fra le due estremità la forma di menisco concavo (fig 68) e si precipita verso il vertice dell'angolo delle due lamine. Se, invece, il liquido non bagna le lamine, come accade pel mercurio, la goccia termina con un menisco convesso (fig. 69), e si allontana dal vertice dell'angolo.

115. Attrazioni e ripulsioni risultanti dalla capillarità. — Le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti alla superficie dei liquidi sono prodotte dalla capillarità e sono sottoposte alle seguenti leggi:

Quando ambedue i corpi galleggianti sono bagnati dal liquido, come avviene di due palle di sughero galleggianti sull'acqua, si produce una energica attrazione appena che le due palle vengano avvicinate per modo che fra esse non si trovi più superficie piana.

Se non è bagnato nè l'uno nè l'altro dei due corpi, come accade di due palle di cera galleggianti sull'acqua, si osserva ancora una viva attrazione tosto che queste siano collocate nelle medesime condizioni che abbiamo ora accennate.

Finalmente, se uno dei due corpi galleggianti è bagnato dal liquido e l'altro non è bagnato, come avviene di una palla di sughero e di una palla di cera poste nell'acqua, si vede che le due palle si respingono all'istante in cui vengano avvicinate a tal segno che si trovino a contatto le due curvature contrarie del liquido.

Siccome tutti i fenomeni capillari che abbiamo descritti dipendono dalla curvatura concava o convessa, che assume la superficie del liquido al contatto dei corpi, così non ci resta che di far conoscere la causa che determina la forma di questa curvatura.

116 Causa della curvatura delle superficie liquide a contatto coi solidi. — La forma della superficie di un liquido a contatto di un corpo solido dipende dal rapporto che passa fra l'attrazione del solido sul liquido e l'attrazione del liquido sopra sè stesso.

Di fatti, si immagini una molecola liquida m (fig. 70) in contatto con un corpo solido. Questa molecola è sottoposta all'azione di tre forze; la gravità, che la sollecita secondo la verticale mP, l'attrazione del liquido, che agisce nella direzione mF, e l'attrazione della lamina, che si esercita nella direzione mn. Ora, secondo le intensità rispettive di queste forze, la loro risultante può prendere le tre posizioni seguenti:

1.° Questa risultante può essere diretta secondo la verticale mR (fig. 70); allora la superficie in m è piana e orizzontale, perchè, dietro le condi-

zioni di equilibrio dei liquidi (86), la loro superficie deve essere perpendicolare alla direzione della forza che sollecita le loro molecole;

2.° Aumentando la forza n o diminuendo F, la risultante R si dirige entro l'angolo mnP (fig. 71); in questo caso la superficie assume una direzione inclinata, perpendicolare a mR e diviene concava.

3.° Se aumenta la forza F, o diminuisce la forza n, la risultante R prende la direzione mR (fig. 72), entro l'angolo PmF, e la superficie, disponendosi perpendicolarmente a questa direzione, diventa convessa.

Col calcolo si dimostra che, nel primo caso, l'attrazione del liquido su di sè stessa è doppia di quella del solido sul liquido; nel secondo caso l'attrazione del liquido è minore del doppio di quella del solido; nel terzo essa è maggiore.

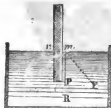
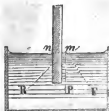
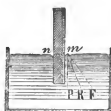



Fig. 70. *Fig.* 71. *Fig.* 72.

117. Influenza della curvatura del liquido sui fenomeni capillari. — L'innalzamento o la depressione di un liquido in un tubo capillare dipende dalla forma concava o convessa del menisco. Di fatti, se si considera un menisco concavo $abcd$ (fig. 73), le molecole liquide di questo menisco, sostenute in equilibrio dalle forze che le sollecitano (116), non esercitano alcuna pressione sugli strati inferiori: inoltre, in virtù dell'attrazione molecolare, esse agiscono sugli strati inferiori più vicini; onde ne risulta che sopra uno strato qualunque mn, nell'interno del tubo, la pressione è minore di quanto sarebbe senza del menisco. Per conseguenza, dietro le condizioni di equilibrio dei liquidi (80 e 86), il liquido deve elevarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna sullo strato mn sia eguale alla pressione dovuta ad op, che si esercita esternamente sopra un punto qualunque p del medesimo strato.

Nel caso in cui il menisco sia convesso (fig. 74), l'equilibrio sussiste ancora per effetto delle forze molecolari che sollecitano il liquido; ma le molecole inferiori non risentono l'attrazione che sarebbe esercitata da quelle che occuperebbero lo spazio $ghik$, ove mancasse l'azione capillare. Risulta da ciò che la pressione sopra uno strato qualunque mn è maggiore nell'interno del tubo di quello che sarebbe quando lo spazio $ghik$ fosse riempito; perchè le forze molecolari di cui si tratta sono molto più intense della gravità. Quindi il liquido deve abbassarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna, sullo strato mn, sia la stessa che in un punto qualunque di questo strato.

La teoria della capillarità, una delle più difficili della fisica, non può essere trattata compiutamente se non coll' analisi matematica; epperò essa fu studiata specialmente dai matematici, e sopratutto, in Francia, da Clairaut, Laplace e Poisson. Questa teoria, della quale abbiamo dato appena un cenno, rende ragione dell' innalzamento e della depressione dei liquidi non solo nei tubi, ma anche fra le lamine parallele od inclinate (114). Essa spiega pure le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti (115).

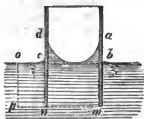



Fig. 73. Fig. 74.

118. Fatti diversi dipendenti dalla capillarita'. — Nel novero dei fenomeni prodotti dalla capillarità citeremo i seguenti.

Sollevando con precauzione un tubo capillare immerso in un liquido che lo bagna, si vede la colonna liquida restare sospesa nel tubo ad altezza maggiore che quando il tubo era immerso. Ciò risulta da che il tubo trascina seco una goccia liquida, la quale aderisce alla sua parte inferiore e vi forma un menisco convesso la cui azione concorra con quella del menisco concavo superiore a sostenere una colonna più alta (117).

Per la stessa ragione, un tubo capillare immerso in un liquido non dà luogo ad efflusso, quantunque sia più corto della colonna liquida che tende ad elevarsi in questo tubo. Ciò dipende da che all'istante in cui il liquido arriva alla sommità del tubo, la sua superficie superiore da concava si fa convessa, e, per conseguenza, la pressione diventa maggiore di quella che sarebbe se la superficie fosse piana, ed il moto ascensivo si arresta.

È parimenti per effetto capillare che l' olio si innalza nei lucignoli delle lampade e che succede l' imbibizione dei liquidi nei legni, nelle spugne, ed in generale in tutti i corpi che hanno pori sensibili (15). Finalmente, sotto i nomi di endosmosi, di assorbimento e di imbibizione, faremo ora conoscere dei nuovi fenomeni che presentano una grande analogia coi fenomeni capillari, e che spesse volte si confondono con essi.

ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE.

119. Endosmosi ed esosmosi. — Chiamansi *endosmosi* ed *esosmosi* le correnti di direzione contraria che si stabiliscono fra due liquidi di natura diversa separati da un diaframma sottile ed assai poroso, organico od inorganico. Queste espressioni, che significano *corrente entrante* e *corrente*

uscente, furono adottate da Dutrochet, il quale, nel 1826, fece conoscere meglio questi fenomeni fino a quel tempo pochissimo studiati. Queste correnti vengono constatate per mezzo dell'*endosmometro*. Si chiama così un sacco membranoso sormontato da un tubo di vetro di una certa lunghezza intorno al quale si fa aderire esattamente per mezzo di una legatura (fig. 75). Si immerge in un vaso pieno d'acqua questo sacco, dopo di averlo riempito di una soluzione concentrata di gomma o di un altro liquido più denso dell'acqua, come sarebbero il latte, l' albumina od una soluzione di zucchero. Ben presto si osserva che nel tubo il livello sale a poco a poco ad una altezza che può giungere a parecchi decimetri, mentre si abbassa nel vaso in cui è immerso l'endosmometro: d'onde bisogna concludere che una parte dell'acqua pura è passata a traverso della membrana per mescolarsi col liquido interno. Inoltre, dopo qualche tempo, si può constatare che l'acqua nella quale trovasi immerso l'endosmometro contiene della gomma. Si sono adunque prodotte due correnti, il qual fenomeno si esprime dicendo che succede l'endosmosi per il liquido del quale aumenta il volume, e l'esosmosi per quello il cui volume diminuisce. Se si pone l'acqua pura nel sacco membranoso e si immerge questo nell'acqua gommata, l'endosmosi si produce ancora dall'acqua pura verso l'acqua gommata; cioè il livello si innalza all'esterno.

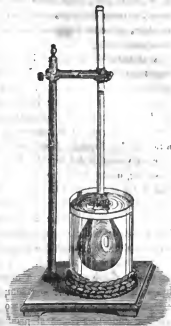



Fig. 75.

L' innalzamento nell' endosmometro varia coi differenti liquidi. Fra tutte le sostanze vegetali lo zucchero sciolto, e, fra le sostanze animali, l' albumina sono quelle che, a pari densità, presentano la maggior facoltà d' endosmosi. Invece la gelatina non possiede che una debolissima forza di endosmosi. In generale, la corrente di endosmosi si dirige verso il liquido più denso; tuttavia, l'alcoole e l'etere fanno eccezione, e si comportano, relativamente all'acqua, come liquidi più densi. Cogli acidi, succede endosmosi dall'acqua verso l'acido o dall'acido verso l'acqua, secondo che sono più o meno diluiti.

Dutrochet ha constatato che, per la produzione dei fenomeni dell' endosmosi, si richiede: 1.° che i liquidi siano eterogenei e suscettibili di mescolarsi, come, per esempio, l'acqua e l'alcoole; coll'acqua e coll'olio il fenomeno non succede; 2.° che i due liquidi abbiano densità differenti; 3.° che il diaframma il quale divide i liquidi sia permeabile almeno ad uno di essi.

Tutte le sostanze vegetali ed animali sono permeabili; le sostanze inorganiche, come le ardesie, il grès, la porcellana non verniciata, la terra da pipe poco cotta, sono tanto meno permeabili quanto più abbondano di silice. La terra da pipe, che è più alluminosa della porcellana, è più permeabile, come si riconosce dall'allappamento della lingua che da essa viene prodotto.

A traverso delle lamine inorganiche sottili la corrente è debole, ma può continuare indefinitamente. Invece le membrane animali si disorganizzano prontamente, e l'endosmosi cessa.

Si proposero parecchie teorie dell'endosmosi. Alcuni opinarono che fosse prodotta da una corrente elettrica diretta nello stesso verso dell'endosmosi. Altri attribuirono il fenomeno ad una azione capillare congiunta alla affinità dei due liquidi. Si credette anche che l'endosmosi dipendesse da una diversa viscosità dei liquidi. Finalmente, si giudicò che questo fenomeno fosse cagionato dalla più o meno grande permeabilità delle membrane per tale o tal altro liquido. Nessuna di queste ipotesi porge una soddisfacente spiegazione dell'endosmosi. Comunque sia, il fenomeno sembra legato intimamente colle medesime cause da cui è prodotta la capillarità; non pertanto si osserva che l'innalzamento di temperatura, il quale rende più attiva l'endosmosi, indebolisce invece le azioni capillari.

120. Endosmosi dei gas. — I gas presentano dei veri fenomeni di endosmosi. Se due gas di natura diversa sono divisi per mezzo di una membrana secca, si compie una semplice mescolanza, cioè si producono correnti eguali nei due versi a traverso della membrana; ma se questa è umida, avviene endosmosi, cioè si producono correnti ineguali. Per eseguire l'esperimento, si chiude una vescica piena di gas acido carbonico in una seconda vescica più ampia e piena di ossigeno. In quest'ultima affluisce in copia l'acido carbonico, il che dimostra che accade endosmosi dall'acido carbonico verso l'ossigeno. Parimenti, una bolla di acqua saponata piena d'aria, e posta sotto una campana piena di gas acido carbonico, aumenta di volume.

121. Assorbimento ed imbibizione. — Le parole *assorbimento* ed *imbibizione*, in fisica, sono quasi sinonimi: ambedue indicano egualmente una penetrazione di una sostanza estranea in un corpo poroso. Nondimeno, si adopera indistintamente la parola assorbimento quando si parla delle sostanze liquide e gasose, mentre il vocabolo imbibizione si usa specialmente pei liquidi.

Nella fisiologia si distingue l'assorbimento dalla imbibizione. Nel primo di questi fenomeni avvi penetrazione di una sostanza eterogenea nei tessuti di un corpo vivente; mentre si usa la parola imbibizione soltanto nel caso che si voglia esprimere una penetrazione nei corpi porosi inorganici o nei corpi porosi organici privi di vita. In una parola, nell'assorbimento agiscono le forze vitali; nell'imbibizione queste forze non esercitano alcuna azione.

122. Assorbimento dei gas. — La proprietà di assorbire i gas, nel senso

fisico, appartiene, ma in gradi variabilissimi, a tutti i corpi forniti di pori sensibili (15). Il carbone di quercia manifesta in modo speciale questa proprietà. Spento sotto una campana piena di tale o di tal altro gas, questo corpo ne assorbe, alla ordinaria pressione, differenti volumi; per esempio, 90 volte il suo volume di gas ammoniaco, 35 volte il suo volume di gas acido carbonico, e 9 volte il suo volume di ossigeno. Il carbone asciutto ha una facoltà assorbente doppia di quella del bagnato. Ciò prova che esso ripete la proprietà assorbente dalla sua porosità e, per conseguenza, da una azione capillare. Il potere assorbente del carbone di abete è la metà di quello del carbone di quercia. Il carbone di sughero, che è estremamente poroso, è privo di facoltà assorbente; lo stesso dicasi di quel carbone naturale assai compatto che si chiama grafite. D'onde si conchiude che la porosità è bensì una condizione essenziale per l'assorbimento del gas, ma che, non pertanto, l'ampiezza dei pori deve essere compresa entro certi limiti.

123. Fenomeni di assorbimento nelle piante. — Nel regno vegetale l'assorbimento è operato da tutte le parti delle piante, ma sopratutto dalle spugnuole, o fibrille che costituiscono le estremità delle radici, e dalle foglie. L'ossigeno, l'idrogeno, il carbonio e l'azoto, necessarii alla nutrizione dei vegetali, sono assorbiti da questi organi, allo stato di acqua, di acido carbonico e di ammoniaca.

I liquidi, insieme coi sali che tengono in soluzione, sono dapprima assorbiti dalle spugnuole, per un doppio fenomeno di endosmosi e di capillarità; indi il succhio elaborato dal vegetale, aumentando di densità verso le parti superiori, continua ancora ad ascendere per un fenomeno di endosmosi Finalmente, l'ascensione del succhio è favorita anche dal vuoto che tende a prodursi nelle parti elevate delle piante in conseguenza dell'esalazione dalle foglie L'azione capillare non può elevare i liquidi che nelle cellule inferiori, ed è incapace di produrre alcuna corrente.

Il dottor Boucherie, di Bordeaux, ha fatto una felice applicazione della proprietà assorbente dei vegetali per introdurre nel tessuto dei legni diversi sali, alcuni dei quali li tingono con colori più o meno vivi, altri ne aumentano la pieghevolezza e la tenacità, e li rendono meno combustibili.

124. Fenomeni di assorbimento negli animali. — Negli animali inferiori, i cui tessuti sono formati unicamente di cellule, l'introduzione delle sostanze estranee si compie, come nei vegetabili, per imbibizione e per endosmosi. L'imbibizione, per mezzo della quale alcuni di questi animali si nutrono, è una vera endosmosi.

Negli animali superiori avviene l'assorbimento. Per esempio, la robbia, presa internamente da questi animali, penetra nelle loro ossa e le colora in rosso. Parimenti, un liquido posto a contatto colla pelle privata dell'epidermide o con una membrana mucosa, in conseguenza della grandissima vascolarità della loro superficie, passa nei vasi per effetto di endosmosi, il che costituisce l'assorbimento.

Quanto maggiore è la fluidità di una sostanza e tanto più facile ne è l'as-

sorbimento. Tuttavia, perchè l'assorbimento dei liquidi si effettui, è necessario che essi bagnino le membrane; di fatti, le sostanze grasse, che non le bagnano, non sono assorbite. Ma Bernard riconobbe che esse vengono facilmente assorbite quando siano emulsionate col succo pancreatico. Recentemente il dottor Loze annunciò che l'olio di fegato di merluzzo, assai in voga da qualche anno, emulsionato nella stessa maniera, acquista una azione più energica, e ciò perchè viene meglio assorbito quando trovasi in questo stato.

L'assorbimento, al pari dell'endosmosi, è favorito dal calore e dalle sottrazioni sanguigne. In seguito ad una abbondante traspirazione o ad un salasso, l'assorbimento aumenta.

LIBRO IV.

DEI GAS

CAPITOLO I.

PROPRIETA' DEI GAS, ATMOSFERA.

125. **Caratteri fisici dei gas.** — I *gas* o *fluidi aeriformi* sono corpi le cui molecole godono di una perfetta mobilità e si trovano in uno stato costante di ripulsione, che si distingue col nome di *espansibilità*, di *tensione* o di *forza elastica* (*); e perciò i gas medesimi chiamansi frequentemente *fluidi elastici*.

I fluidi elastici si dividono in due classi, dei *gas permanenti*, o gas propriamente detti, o dei *gas non permanenti* o *vapori*. I primi sono quelli che conservano lo stato aeriforme a qualunque pressione ed a qualunque abbassamento di temperatura cui vengono sottoposti, come l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, il biossido di azoto e l'ossido di carbonio. Invece, i gas non permanenti passano facilmente allo stato liquido, o per un aumento di pressione o per il raffreddamento. Questa distinzione però non è rigorosa, perchè molti gas, che si consideravano come permanenti, furono liquefatti da Faraday e da altri fisici, e si deve ammettere che quelli i quali fino ad ora non si poterono liquefare sarebbero ridotti liquidi quando fossero sottoposti ad una pressione e ad un raffreddamento sufficienti. Per ciò, la parola *gas* indica, in generale, i corpi che, alla pressione ed alle temperature ordinarie, si presentano soltanto allo stato aeriforme: mentre si dinota colla parola *vapore*, lo stato aeriforme che, sotto l'influenza

(*) Più propriamente il vocabolo *forza elastica* si adopera per indicare l'azione che i gas producono o tendono a produrre in causa della loro espansibilità sui corpi coi quali trovasi a contatto.

(*Nota dei Trad.*)

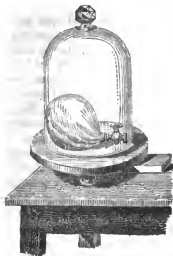
del calorico, assumono i corpi i quali, come l'acqua, l'alcoole e l'etere, sono liquidi alle pressioni ed alle temperature ordinarie.

I gas oggidì conosciuti in chimica ascendono al numero di 34 dei quali 4, cioè l'ossigeno, l'azoto ed il cloro, sono semplici, e 7 soltanto, cioè, l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, l'acido carbonico, l'idrogeno protocarbonato, l'idrogeno bicarbonato, l'ammoniaca e l'acido solforoso esistono già formati in natura. Tutti gli altri si ottengono soltanto per mezzo di reazioni chimiche.

126. **Forza espansiva dei gas.** — La forza espansiva dei gas, ossia la loro tendenza ad assumere un volume sempre maggiore, si dimostra per mezzo del seguente esperimento. Si pone sotto il recipiente della macchina pneumatica una vescica munita di tubulatura a chiavetta e contenente una piccola quantità di aria, e della quale si bagnarono le pareti onde aumentarne la flessibilità. Dapprincipio avvi equilibrio fra la forza elastica dell'aria che trovasi sotto il recipiente e quella dell'aria contenuta nella vescica. Ma appena s'incomincia ad aspirare l'aria, la pressione che si esercita sulla vescica si indebolisce, e questa si gonfia sempre più come se vi si soffiasse entro dell'aria (fig. 76). Quando si fa in seguito rientrare l'aria esterna, mediante un apposita chiavetta, vedesi la vescica, compressa di nuovo dal gas rientrante, riprendere il suo volume primitivo. Nello stesso modo si può constatare la forza espansiva di tutti i gas.

Fig. 76.

Sembra che un gas qualunque, contenuto in un vase aperto, dovrebbe instantaneamente sfuggirne per effetto della sua forza espansiva, il che difatti avverrebbe, se il vase si trovasse nel vuoto; ma, nelle circostanze ordinarie, la pressione dell'aria esterna si oppone all'uscita del gas. Nondimeno ciò accade sol quando il fluido elastico contenuto nel vase è pur esso aria. Difatti, l'esperienza di-

mostra che si può fare equilibrio alla forza espansiva di un gas soltanto colla pressione esercitata da una massa gasosa di uguale natura. Così, per esempio, la pressione dell'aria non può fare equilibrio alla forza espansiva dell'idrogeno e del gas acido carbonico contenuti in un recipiente. Questi gas non isfuggono nell'aria come farebbero nel vuoto; ma il fluido interno si mescola rapidamente coll'esterno.

Dimostreremo più innanzi che la forza elastica dei gas è sempre eguale e contraria alla pressione cui essi trovansi sottoposti, e che cresce colla temperatura.

127. **Peso dei gas.** — I gas, a motivo della loro estrema fluidità, e specialmente della loro espansibilità, sembrano sfuggire alle leggi della gravità, ma vi obbediscono al pari dei solidi e dei liquidi. Ciò può essere verificato sospendendo al di sotto del piatto di una bilancia assai sensibile un pallone di vetro, della capacità di 3 o 4 litri, avente un collo munito di una chiavetta a tenuta d'aria. Si pesa dapprima questo pallone pieno d'aria, indi lo si pesa di nuovo dopo di avervi fatto il vuoto colla macchina pneumatica, e si trova allora un peso di parecchi grammi minore di quello della prima pesata; il che fa conoscere il peso dell'aria estratta dal pallone.

Misurando previamente, in litri, la capacità del pallone, si trova con questo processo che un litro d'aria pura, alla temperatura di 0° e sotto la pressione atmosferica 0m, 76 (136), pesa gr. 1,3. Un litro di idrogeno, che è il gas più leggiero, pesa gr. 0,09 cioè circa 14 volte e 1/2 meno dell'aria: un litro di gas acido iodidrico, che è il più denso dei gas, pesa gr. 5,776.

128. **Pressioni esercitate dai gas.** — I gas esercitano sulle molecole della loro massa e sulle pareti dei vasi che li contengono due sorta di pressioni, una prodotta dalla loro forza elastica, l'altra dal loro peso. La pressione che risulta dalla forza espansiva si trasmette colla medesima intensità su tutti i punti delle pareti e della massa fluida, perchè la forza ripulsiva che si esercita fra le molecole è la stessa in tutti i punti ed agisce egualmente in tutte le direzioni. La pressione cagionata dalla gravità è sottoposta interamente alle medesime leggi della pressione che questa forza produce nei liquidi (80); cioè, cresce proporzionalmente alla densità ed all'altezza della colonna fluida, è costante sopra uno stesso strato orizzontale ed indipendente dalla forma della massa ga-

sosa. La forza espansiva del gas è allora, in ciascun punto, eguale e contraria alla pressione che sostiene, e perciò cresce colla profondità. Le pressioni che risultano dal peso di una piccola massa gasosa sono piccolissime e possono essere trascurate, ma le pressioni delle grandi masse gasose, quale sarebbe l'atmosfera, dipendenti dalla gravità, possono essere considerabili.

129. **Principio di Pascal e principio di Archimede applicabili ai gas.** Riassumendo quanto precede, si trova una grande analogia fra i gas ed i liquidi. Come in questi ultimi, le molecole dei gas possedono una estrema mobilità, per cui questi corpi, come i liquidi, non hanno alcuna forma propria ed assumono istantaneamente, in virtù della loro forza espansiva, quella del vase che li contiene, occupando sempre tutta la sua capacità e non solo la parte inferiore, come tendono a fare i liquidi.

Dall'analogia di costituzione tra i gas ed i liquidi risulta ancora che anche i gas trasmettono le pressioni in tutti i versi colla stessa intensità, sulle pareti dei vasi e sui corpi immersi nella loro massa; vale a dire che *essi sono sottoposti al principio di Pascal* (79). Finalmente, per un ragionamento identico a quello che venne già fatto pei liquidi (94), si riconosce che *il principio di Archimede è applicabile anche ai gas*, il che del resto sarà più innanzi dimostrato sperimentalmente col mezzo del baroscopio (160).

Accanto a queste analogie fra i gas ed i liquidi si presentano differenze ben marcate: 1.° Mentre i liquidi sono appena compressibili, i gas, all'opposto, sono d'una compressibilità considerabile, sottoposta ad una legge importante che verrà più innanzi dimostrata (149). 2.° I gas sono caratterizzati da una forza espansiva di cui non si conoscono limiti, della quale proprietà non sono forniti i liquidi. 3.° Finalmente, i gas hanno una densità piccolissima, mentre i liquidi formano una classe di corpi aventi una densità molto più considerabile.

130. **Travasamento dei gas.** — I gas, al pari dei liquidi, possono essere travasati da un recipiente in un altro. L'esperimento riesce assai bene coll'acido carbonico, il quale ha una densità molto maggiore di quella dell'aria. Prima di tutto si riempie di questo gas una campanella, raccogliendolo sopra una vasca idro-pneumatica, indi si prende un'altra campanella della stessa capacità, piena d'aria, e vi si rovescia sopra la prima, come mo-

stra la fig. 77, tenendo immobili per qualche tempo i due recipienti. In causa della sua maggiore densità, l'acido carbonico discende lentamente dalla campanella A nell'altra da cui scaccia l'aria, di maniera che trovasi ben tosto la campanella B piena di acido carbonico e la campanella A piena di aria, il che possiamo constatare fondandoci sulla proprietà che ha l'acido carbonico di spegnere i corpi in combustione. Di fatti, prima dell'esperimento, una candela accesa abbrucia nella campana B e si spegne nell'altra, mentre dopo l'esperimento accade l'opposto.

Fig. 77.

131. **Atmosfera, sua chimica costituzione.** — Chiamasi *atmosfera* la massa d'aria che circonda il nostro globo e ne accompagna il moto nello spazio.

L'aria era considerata dagli antichi come uno dei quattro elementi. La chimica moderna dimostrò che questo fluido è una mescolanza di azoto e di ossigeno nel rapporto, in volume, di 20,80 di ossigeno e di 79,20 di azoto, od in peso di 23,01 di ossigeno e di 76,99 di azoto (*).

Nell'atmosfera esiste pure del vapore acquoso in quantità variabile a seconda della temperatura, delle stagioni, dei climi e della direzioni dei venti. Finalmente, l'aria contiene da 3 a 6 diecimillesimi, in volume, di gas acido carbonico.

L'acido carbonico che si trova nell'aria è prodotto dalla respirazione degli animali, dalle combustioni e dalla putrefazione delle sostanze organiche. Boussingault ha calcolato che a Parigi, in 24 ore, si produce approssimativamente la seguente quantità di acido carbonico:

(*) Le più recenti ed esatte analisi dimostrano che l'aria contiene in volume:

Ossigeno	20,9
Azoto	79,1
	100,0

e in peso:

Ossigeno	23,1
Azoto	76,9
	100,0

(*Nota dei Trad.*)

Dalla popolazione e dagli animali. . 336,777 metri cubi.
Dalle combustioni diverse . . . . . 2,607,864 — —

Totale 2,944,641 metri cubi.

Ad onta di questa continua produzione di acido carbonico alla superficie del globo, la proporzione dei gas costituenti l'atmosfera non sembra punto modificarsi; ciò dipende da che, nell'atto della vegetazione, le parti verdi dei vegetali, sotto l'influenza della luce solare, decompongono l'acido carbonico, se ne assimilano il carbonio e restituiscono all'atmosfera l'ossigeno, che le è continuamente sottratto dalla respirazione degli animali e dalle combustioni.

132. **Pressione atmosferica.** — Siccome l'aria è pesante, così se si immagina l'atmosfera divisa in istrati orizzontali, gli strati superiori gravitano sugli inferiori e li comprimono; e poichè questa pressione decresce evidentemente col numero degli strati, la densità dell'aria decresce dalla superficie della terra verso le alte regioni dell'atmosfera.

In conseguenza della forza espansiva dell'aria, sembra che le melecole dell'atmosfera dovrebbero diffondersi indefinitamente negli spazii planetarii. Ma, per lo stesso fatto della dilatazione, la forza espansiva dell'aria decresce progressivamente, ed è pure indebolita dalla bassa temperatura delle alte regioni dell'atmosfera; di maniera che avvi un punto in cui si stabilisce l'equilibrio tra la forza espansiva delle molecole dell'aria e l'azione della gravità che le sollecità verso il centro della terra: onde si conclude che l'atmosfera deve essere limitata.

L'altezza dell'atmosfera, avuto riguardo al suo peso, al suo decremento di densità ed ai fenonemi crepuscolari, si valuta da 54 a 60 chilometri. Al di là trovasi un'aria estremamente rarefatta, ed a 100 chilometri circa sembra che siavi un vuoto assoluto.

Da recenti osservazioni fatte nella zona intertropicale, e particolarmente a Rio Janeiro, sugli archi crepuscolari e sul limite della polarizzazione atmosferica, il signor Liais deduce che l'atmosfera sarebbe di 320 a 340 chilometri, la quale altezza differisce notabilmente da quella finora ammessa.

Poichè si riconobbe antecedentemente (128) che un litro di aria pesa 1^{gr}, 293, è manifesto che l'intera atmosfera

deve esercitare alla superficie del globo una pressione considerabile. L'esistenza di questa pressione si dimostra colle seguenti esperienze.

133. **Crepa-vescica, emisferi di Magdeburgo.** — Il *Crepa-vescica* consiste in un ampio tubo di vetro chiuso esattamente alla sua parte superiore da una membrana di vescica. L'altra estremità, i cui orli sono assai lisci ed unti di sego, viene applicata sul piatto della macchina pneumatica (fig. 78). Appena si incomincia ad estrarre l'aria da questo tubo, la membrana si deprime sotto la pressione atmosferica cui è sottoposta; in seguito scoppia con forte detuonazione cagionata dall'istantaneo rientrare dell'aria.

Gli *emisferi di Magdeburgo*, dovuti ad Ottone di Guericke e così denominati dalla città dove furono inventati, sono due emisferi cavi di ottone, di 10 a 12 centimetri di diametro (fig. 79). I loro orli sono muniti di una

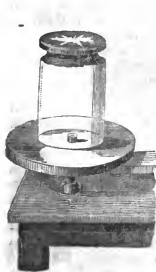



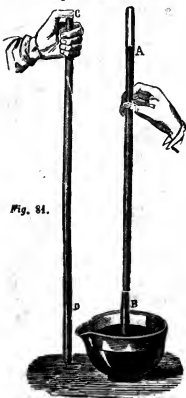
Fig. 78. *Fig. 79.* *Fig. 80.*

lista annulare di cuojo spalmata di sego, perchè tenga il vuoto quando questi orli combaciano. Uno degli emisferi porta una chiavetta con tubulatura, che si può fissare a vite sul piatto della macchina pneumatica; l'altro è fornito di un anello, che serve di impugnatura per af-

ferrarlo ed esercitare su di esso una trazione (*). Senza alcuna difficoltà si possono separare i due emisferi, fintanto che, essendo a contatto, racchiudono dell'aria, perchè avvi equilibrio tra la forza espansiva dell'aria interna e la pressione esterna dell'atmosfera. Ma quando sia fatto il vuoto, non si può più separarli senza uno sforzo potente, qualunque sia la posizione in cui tengasi l'apparato (fig. 80), il che dimostra che la pressione atmosferica si esercita in tutti i versi.

MISURA DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA; BAROMETRI.

134. **Esperimento di Torricelli.** — Le due precedenti esperienze dimostrano la pressione atmosferica, ma non ne fanno conoscere il valore. La seguente, eseguita per la prima volta, nel 1643, da Torricelli, discepolo di Galileo, dà la misura esatta del peso dell'atmosfera.

Fig. 81.

Si prende un tubo di vetro lungo almeno 80 centimetri, del diametro di 5 a 6 millimetri e chiuso ad una delle sue estremità. Dopo di aver situato questo tubo in una posizione verticale CD (fig. 81), lo si riempie interamente di mercurio; indi, chiudendo col pollice l'apertura C, si capovolge il tubo e lo si immerge in una vaschetta piena di mercurio. Ritirando allora il dito, la colonna mercuriale si abbassa di parecchi centimetri e conserva, al livello dei mari, una altezza il cui medio valore è di 76 centimetri.

Per intendere come questa colonna di mercurio riman-

(*) La figura 79 rappresenta i due emisferi separati.
(*Nota dei Trad.*).

ga così sospesa nel tubo, bisogna por mente che, il tubo e la vaschetta rappresentando due vasi comunicanti, l'equilibrio si stabilisce soltanto allorchè la pressione sia la stessa su tutti i punti di una medesima sezione orizzontale (86). Ora, la superficie libera del mercurio nella vaschetta è sottoposta alla pressione dell'atmosfera; mentre allo stesso livello, nell'interno del tubo, avvi soltanto la pressione dovuta alla colonna di mercurio che vi rimane sospesa, poichè si è formato il vuoto in A superiormente al mercurio. Ma essendovi equilibrio, la pressione interna e l'esterna sono eguali; d'onde si conclude che la pressione atmosferica, per una stessa superficie, è eguale a quella esercitata da una colonna di mercurio alta 76 centimetri. Ma si scorge facilmente che se il peso dell'atmosfera cresce o diminuisce, deve avvenire altrettanto della colonna di mercurio AB.

135. **Esperimento di Pascal.** — Pascal, volendo constatare che la forza la quale sosteneva il mercurio nel tubo di Torricelli era veramente la pressione dell'atmosfera, eseguì le due esperienze seguenti: 1.° prevedendo che la colonna di mercurio doveva abbassarsi nel tubo a misura che l'apparecchio venisse innalzato nell'atmosfera perchè allora la pressione diminuisce, pregò un suo parente, che abitava nell'Alvernia, di ripetere sul Puy-de-Dôme l'esperimento di Torricelli. Ora, la colonna di mercurio diminuì di circa 8 centimetri; ciò che dimostra il mercurio essere veramente sostenuto nel tubo dal peso dell'atmosfera, perchè quando diminuisce questo peso, decresce pure l'altezza della colonna di mercurio. 2.° Pascal ha ripetuto l'esperimento di Torricelli, a Rouen, nel 1646, con un altro liquido. Prese un tubo lungo 15 metri, chiuso ad una estremità, lo riempì di acqua e lo capovolse verticalmente in un vase pieno dello stesso liquido. Allora osservò che il liquido si fermava nel tubo ad una altezza di $10^m,33$ cioè ad una altezza eguale a 13,6 volte 0,76; ora, siccome l'acqua è 13,6 volte meno densa del mercurio, così il peso della colonna d'acqua era eguale a quello della colonna di mercurio nell'esperimento di Torricelli; e perciò i due liquidi erano sostenuti successivamente appunto dalla stessa pressione dell'atmosfera.

136. **Valore della pressione atmosferica in chilogrammi.** — Dall'altezza alla quale il mercurio rimane in equilibrio nel tubo di Torricelli si può facilmente desumere la pressione dell'atmosfera, misurata in

chilogrammi, su di una data superficie. Per ciò, ammettiamo che la sezione interna del tubo sia precisamente di un centimetro quadrato; la colonna di mercurio che è nel tubo, avendo allora la forma di un cilindro di un centimetro quadrato di base e di 76 centimetri di altezza, avrà il volume di 76 centimetri cubi, poichè si sa che il volume di un cilindro ha per misura il prodotto della sua base per la sua altezza. Ora, siccome un centimetro cubo d'acqua pesa un grammo, così un centimetro cubo di mercurio deve pesare 13^{gr},6, perchè questo liquido è 13,6 volte più denso dell'acqua. D'onde si conchiude che il peso della colonna di mercurio, nel tubo che consideriamo, equivale a 13^{gr}, 6 moltiplicati per 76, cioè a 1033 grammi, o ciò che è lo stesso, ad 1 chilogrammo e 33 grammi. Sopra un decimetro quadrato, il quale contiene 100 centimetri quadrati, la pressione atmosferica è di 103^{chil}, 300^{gr}, e sopra un metro quadrato, che contietiene 100 decimetri quadrati, ammonta a 10330 chilogrammi.

Siccome la superficie totale del corpo umano, in un individuo di altezza e di grossezza ordinaria, è di un metro quadrato e mezzo, così la pressione media che un uomo sostiene, alla superficie della terra, è di 15500 chilogrammi. Pare che una pressione tanto considerabile ci dovrebbe schiacciare; ma il nostro corpo vi resiste per la reazione dei fluidi elastici che contiene. Le nostre membra non risentono nemmeno alcun incomodo nei loro movimenti, perchè la pressione atmosferica si esercita in tutte le direzioni, e quindi noi sosteniamo, in tutti i versi, delle pressioni eguali e contrarie che si fanno equilibrio e sono più atte a giovarci che a recarci molestia. Di fatti, nei giorni in cui la pressione atmosferica è più debole dell'ordinario, noi risentiamo un malessere che esprimiamo col dire *il tempo è pesante*; bisognerebbe dire il contrario.

137. **Differenti specie di barometri**. — Chiamansi *barometri* gli strumenti che servono a misurare la pressione atmosferica. Nei barometri ordinarii questa pressione è misurata da una colonna di mercurio entro un tubo di vetro, come nell'esperimento di Torricelli. Tali sono i barometri che ora descriveremo, e che si dividono in barometri a vaschetta, barometri a sifone e barometri a quadrante. Ma si costruiscono anche dei barometri senza mercurio; noi ne descriveremo più innanzi (156) uno assai semplice, dovuto a Bourdon.

138. **Barometro a vaschetta**. — Il *barometro a vaschetta* è composto di un tubo di vetro dritto, lungo circa 85 centimetri, pieno di mercurio, che pesca in una vaschetta piena dello stesso metallo. Tale è l'apparato già descritto sotto il nome di tubo di Torricelli (fig. 81). Allo scopo di rendere il barometro più facilmente trasportabile e meno rilevanti le variazioni del livello nella vaschetta, quando il mercurio s'innalza o si abbassa nel tubo, si è di molto variata la forma della vaschetta. La fig. 82 rappresenta un barometro di questo genere, il quale può essere facilmente trasportato.

La vaschetta presenta due compartimenti *m* ed *n*, il più grande dei quali è unito col tubo per mezzo di mastice e comunica coll'atmosfera soltanto per una piccola apertura coperta da un disco di pelle, che si vede rappresentato sulla parete superiore della vaschetta. Al disotto di questo primo compartimento avvene uno più piccolo *n*, che è affatto pieno di mercurio, mentre il primo ne è pieno soltanto in parte. I due compartimenti sono riuniti per mezzo di una tubulatura ristretta, nella quale si impegna l'estremità inferiore del tubo barometrico. Questo tubo non chiude la tubulatura mediante la quale comunicano fra loro i due compartimenti, ma lascia, fra le pareti di questa e le proprie, un intervallo abbastanza piccolo perchè la capillarità impedisca al mercurio di uscire dal piccolo compartimento quando si inclini o si capovolga il barometro. D'onde risulta che, in tutte le posizioni, la punta acuminata del tubo pesca nel mercurio, e quindi che l'aria non vi può penetrare.

Tutto l'apparecchio è fissato su di una tavoletta di legno, la quale porta alla sua parte superiore una scala graduata in millimetri, che ha origine al livello del mercurio nella vaschetta. Finalmente, un corsojo *i* mobile serve a constatare sulla scala il livello *o* del mercurio.

Fig. 82.

Questo barometro, come tutti quelli dello stesso genere, offre poca precisione a motivo che lo zero della scala non

corrisponde invariabilmente al livello del mercurio nella vaschetta. Di fatti, siccome la pressione dell'atmosfera non è costante, questo livello varia ogni volta che la pressione aumenta o diminuisce; perchè allora una certa quantità di mercurio passa dalla vaschetta nel tubo, o da questo nella vaschetta. Ne risulta quindi che, nella maggior parte dei casi, la graduazione della scala non indica la vera altezza del barometro. Vedremo un po' più innanzi come nel barometro di Fortin sia evitata questa causa di errore.

Chiamasi *altezza del barometro* o *altezza barometrica*, la differenza di livello del mercurio nel tubo e nella vaschetta. Siccome la pressione esercitata dal liquido, pel proprio peso, alla base del tubo, è indipendente dalla forma e dal diametro di quest'ultimo (82), purchè non sia capillare, così anche l'altezza del barometro è indipendente dal diametro del tubo e dalla sua forma diritta o curva; ma quest'altezza è in ragione inversa della densità del liquido. Col mercurio, l'altezza media, al livello del mare, è di $0^m,76$; in un barometro ad acqua sarebbe di $10^m,33$.

139. **Barometro di Fortin**. — Il *barometro di Fortin*, così chiamato dal nome del suo inventore, è un barometro a vaschetta; quest'ultima però differisce da quella del barometro che abbiamo già descritto (138). Il fondo ne è di pelle di daino, e può essere innalzato o abbassato mediante una vite di pressione posta al disotto.

Fig. 83. *Fig.* 84.

Questa disposizione offre due vantaggi; cioè di poter ottenere un livello costante nella vaschetta, e di rendere lo strumento più facilmente portatile. Difatti, per trasportarlo in viaggio, basta sollevare la pelle di daino fino al punto che il mercurio, innalzandosi con essa, riempia compiutamente il tubo e la vaschetta. Allora il barometro può essere inclinato ed anche rovesciato, senza pericolo che l'urto del mercurio infranga il tubo.

La figura 84 rappresenta questo barometro, il tubo del quale è

chiuso in un astuccio di ottone destinato a difenderlo. Quest'astuccio, verso la sua parte superiore, ha due fessure longitudinali opposte l'una all'altra in modo di lasciar vedere il livello del mercurio. Sull'astuccio avvi una scala graduata in millimetri. Un corsojo A, che si fa scorrere colla mano, fornisce, per mezzo di un verniero, l'altezza del barometro a meno di $^1/_{10}$ di millimetro. Alla parte inferiore dell'astuccio è fissata la vaschetta *b*, che contiene il mercurio O.

La figura 83 rappresenta, sopra una scala più grande, le parti della vaschetta, la quale risulta di un cilindro di vetro che lascia vedere il livello del mercurio. Il fondo di questo cilindro è chiuso da una pelle di daino B D, che si solleva e si abbassa con una vite C. La chiocciola di questa vite è incavata nel fondo di un cilindro di ottone G, che trovasi fissato al disotto del cilindro di vetro contenente il mercurio. Finalmente, alla parte superiore della vaschetta è fissata una piccola asta d'avorio A, la cui punta corrisponde esattamente allo zero della scala graduata in millimetri sull'astuccio. Per adoperare lo strumento si usa l'avvertenza, ad ogni osservazione, di far affiorare con questa punta la superficie del mercurio nella vaschetta, il che si ottiene girando la vite C in un verso o nell'altro. In tal modo, la distanza dell'estremo B della colonna dalla punta d'avorio *a* (fig. 84), rappresenta esattamente l'altezza barometrica.

140. **Barometro a sifone di Gay-Lussac.** — Il *barometro a sifone* consiste in un tubo di vetro curvato in due rami disuguali. Il braccio più lungo, chiuso alla sommità, è pieno di mercurio, come nel barometro a vaschetta; il più corto, il quale è aperto, fa le veci della vaschetta. La differenza di livello nei due rami è l'altezza barometrica.

Fig. 85. Fig. 86.

La figura 85 rappresenta il barometro a sifone quale fu modificato da Gay-Lussac. Questo fisico, onde rendere

lo strumento più facilmente trasportabile in viaggio, senza che l'aria possa penetrarvi, riunì i due rami con un tubo capillare. Quando si capovolge lo strumento, questo tubo, in virtù della capillarità, resta sempre pieno, e l'aria non può penetrare nella camera barometrica. Tuttavia, sotto un urto d'una certa forza, la colonna di mercurio contenuta nel piccolo tubo può dividersi e lasciar passare dell'aria. Per ovviare a questo inconveniente, Bunten adottò la modificazione rappresentata dalla figura 83. Il tubo capillare, invece di essere saldato col tubo più lungo, è unito con un tubo K di diametro molto maggiore; in quest'ultimo penetra il tubo più lungo appuntato. Stante questa disposizione, le bolle d'aria, che mai passassero nel tubo capillare, non possono entrare nella piccola apertura della punta del tubo, e si radunano in K alla parte più elevata del rigonfiamento, come mostra la figura; esse non producono alcun inconveniente, poichè alla sommità dello strumento esiste tuttavia il vuoto.

Nel barometro di Gay-Lussac il ramo corto è chiuso alla sua estremità superiore, e non presenta che una piccola apertura laterale C, a traverso della quale agisce la pressione atmosferica.

La misura dell'altezza poi si ottiene per mezzo di due scale segnate sovra due regoli di ottone paralleli al tubo barometrico, ed aventi il loro zero comune in O, pressochè alla metà del ramo più lungo, e graduate in verso contrario, una da O verso E, l'altra da O verso D. Due corsoj a verniero *m* ed *n* si possono muovere sulle scale in modo da indicare in millimetri e decimi di millimetro le distanze da O ad A e da O a B. Sommando da ultimo i due numeri così ottenuti, si ha l'altezza totale AB.

La figura 85 rappresenta il barometro di Gay-Lussac fissato su di una tavoletta di legno, per servire meglio alle dimostrazioni. Ma, per trasportarlo in viaggio, lo si chiude in un astuccio di ottone affatto simile a quello del barometro di Fortin (fig. 81), ove se ne eccettui la vaschetta.

141. Condizioni alle quali deve soddisfare un barometro. — Per fabbricare un barometro si deve preferire il mercurio a qualsiasi altro liquido, perchè, essendo esso il più denso dei liquidi, è pur quello che giunge alla minore altezza; ma merita questa preferenza anche perchè è pochissimo volatile e perchè non bagna il vetro. Importa che il mercurio sia perfetta-

mente puro e privo di ossido; altrimenti *fa la coda*, cioè aderisce al vetro e lo appanna. Inoltre, quando è impuro, la sua densità è cambiata, e con essa l'altezza barometrica.

In qualsiasi barometro bisogna che lo spazio vuoto esistente alla sommità del tubo (fig. 81 e 82), che si chiama *camera barometrica*, o vuoto di Torricelli, sia affatto privo di aria e di vapor d'acqua; altrimenti, questi fluidi, a motivo della loro forza elastica, deprimerebbero la colonna di mercurio. Per ottenere questo risultato bisogna far bollire il mercurio nel tubo stesso operando come segue: all'estremità aperta del tubo si salda una bolla di vetro e si riempie di mercurio purissimo il tubo; in appresso si colloca il tubo su di una grata di lamiera di ferro inclinata (fig. 87) e lo si circonda di carbone incandescente, in

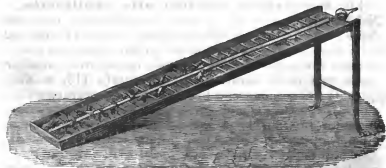



Fig. 87.

modo da riscaldarlo fino ad una temperatura vicina a quella della ebollizione del mercurio. Si aggiungono allora nuovi carboni verso la parte inferiore della grata allo scopo di determinare l'ebollizione, e, quando questa siasi mantenuta per quattro o cinque minuti, si portano i carboni alquanto più in alto, e ciò si ripete finchè siasi fatto bollire successivamente il mercurio in tutta la lunghezza del tubo. Mentre si compie l'ebollizione, i vapori mercuriali, che si sviluppano, producono degli scuotimenti nel tubo e tendono a slanciare fuori il mercurio; la bolla è appunto destinata a ricevere il mercurio così projettato.

Quando si è fatto bollire il mercurio nel tubo, scomparvero le bolle d'aria e l'umidità che aderivano al vetro, ed il tubo presenta la lucentezza metallica di uno specchio; ed ecco l'indizio che il tubo è ben purgato. Si

riconosce che è stato raggiunto questo scopo anche quando il tubo, inclinato dolcemente, produce un suono secco e metallico cagionato dal mercurio che ne colpisce la sommità. Se avvi dell'aria o dell'umidità nello strumento, il suono è meno vivo.

Compiute le operazioni qui descritte, colla lima si stacca la bolla, si riempe esattamente il tubo con mercurio asciutto e bollito, indi lo si chiude col dito, come nell'esperimento di Torricelli (fig. 81) e lo si capovolge nella vaschetta.

Nello stesso modo si riempe il tubo a sifone di Gay-Lussac; in seguito poi lo si curva nella sua parte capillare, riscaldandolo sopra carboni accesi o colla lampada da smaltatore.

142. **Correzione relativa alla capillarità.** — Nel barometro a vaschetta avvi costantemente una certa depressione nell'altezza del mercurio, la quale è cagionata dalla capillarità. Per correggere questo errore, bisogna conoscere il diametro interno del tubo barometrico, ed allora, per mezzo della tavola data al paragrafo 113, si determina la depressione che bisogna sempre aggiungere alle altezze osservate. Quando non si conosce previamente il diametro interno, lo si deduce approssimativamente dal diametro esterno, sottraendo da questo 2mil.,3, se è di 8 a 10 millimetri, e 2mil.,5 se è di 10 a 12 millimetri. Per un tubo il cui diametro interno fosse di 20 millimetri l'errore proveniente dalla capillarità sarebbe trascurabile.

Nel barometro di Gay Lussac (fig. 85) si evita la necessità di fare la correzione di capillarità, avendo cura che i due rami A e B siano dello stesso diametro, perchè, in tal caso, le depressioni in A ed in B essendo eguali, la colonna AB conserva la sua vera lunghezza.

143. **Correzione relativa alla temperatura.** — In tutte le osservazioni fatte coi barometri a vaschetta ed a sifone bisogna badare alla temperatura. Di fatti, quando il mercurio si dilata o si restringe, per le variazioni di temperatura, cambia la sua densità e quindi la sua altezza; perchè questa altezza è in ragione inversa della densità del liquido contenuto nel tubo (138), di maniera che, per pressioni atmosferiche differenti, si potrebbero avere nel barometro altezze eguali. Per ciò, in ogni osservazione, bisogna ridurre sempre l'altezza a quella che si avrebbe ad una temperatura determinata ed invariabile. Essendo quest'ultima affatto arbitraria, si è scelta la

temperatura del ghiaccio fondentesi. Nello studio del calorico (264) vedremo come si effettui col calcolo questa correzione. Per conoscere la temperatura del mercurio contenuto nel barometro, si colloca un termometro in vicinanza del tubo, come rappresentano le figure 84 e 85.

Con un calcolo semplicissimo si può ridurre l'altezza del barometro a zero per mezzo di tavole di correzione, che furono costruite a quest'uso. Queste tavole si trovano nell'Annuario dell'Ufficio delle longitudini per l'anno 1838.

144. Variazioni dell'altezza barometrica. — Osservando il barometro per parecchi giorni si riconosce che la sua altezza varia, in ciascun luogo, non solo da un giorno all'altro, ma anche in una medesima giornata.

L'ampiezza di queste variazioni, cioè la differenza media fra la maggiore e la minore altezza, non è dappertutto la stessa, ma cresce dall'equatore ai poli. Le più grandi variazioni, tranne i casi straordinarii, sono di 6 millimetri, all'equatore, di 30 al tropico del cancro, di 40 in Francia, alla latitudine media, e di 60 alla distanza di 25 gradi dal polo. Finalmente, le maggiori variazioni avvengono in inverno.

Chiamasi *altezza media diurna* il numero che si ottiene sommando 24 osservazioni successive del barometro fatte d'ora in ora, e dividendo questa somma per 24. Ramond constatò coll'esperienza che, alla nostra latitudine, l'altezza del barometro, a mezzogiorno, è sensibilmente la media della giornata.

L'*altezza media mensile* si ottiene sommando le altezze medie di ogni giorno per lo spazio di trenta giorni, e dividendo la somma per 30.

Finalmente *l'altezza media annuale* si determina sommando le altezze medie di ciascun giorno di un anno, e dividendo la somma per 365.

Sotto l'equatore la media annuale, al livello del mare, è 0m,758. Essa aumenta progressivamente colla distanza dall'equatore, e raggiunge, fra le latitudini di 30 a 40 gradi, un massimo di 0m,763. Decresce nelle latitudini più elevate, ed a Parigi è soltanto di 0m,7568 (*).

Alla riva del mare la media generale sembra essere di 0m,761.

La media mensile è più elevata in inverno che nella state, il che dipende dal raffreddamento dell'atmosfera.

(*) A Milano è 0m,7497. (*Nota dei Trad.*)

Nel barometro si distinguono due sorta di variazioni: 1.° le *variazioni accidentali*, le quali non presentano alcuna regolarità nella loro successione, e sono dipendenti dalle stagioni, dalla direzione dei venti, dalla posizione geografica; 2.° le *variazioni diurne*, le quali si producono periodicamente a certe ore del giorno.

All'equatore e nelle regioni intertropicali non si manifestano variazioni accidentali; ma le variazioni diurne si producono con una tale regolarità che un barometro potrebbe, in certo modo, servire d'orologio. Dopo mezzogiorno il barometro si abbassa fino verso 4 ore. A quest'ora arriva all'altezza minima, indi risale e giunge ad un massimo verso 10 ore di sera. Finalmente, si abbassa di nuovo, arriva ad un secondo minimo verso 4 ore di mattina e ad un secondo massimo verso 10 ore di sera.

Nelle zone temperate si osservano bensì delle variazioni diurne, ma esse sono più difficili a constatarsi di quelle delle regioni equatoriali, perchè si confondono colle variazioni accidentali.

Le ore della massima e della minima altezza, nelle variazioni diurne, sembrano essere le stesse in tutti i climi, qualunque sia la latitudine; ma variano alquanto al variare delle stagioni.

145. **Cause delle variazioni barometriche.** — In generale si osserva che le variazioni del barometro sono in verso contrario di quelle del termometro; cioè che, elevandosi la temperatura, si abbassa il barometro, e *viceversa*. Questa circostanza indica che le variazioni barometriche, in un luogo determinato, risultano dalle dilatazioni o dalle contrazioni dell'aria in questo luogo, e quindi dai suoi cambiamenti di densità. Se la temperatura dell'aria fosse costante ed uniforme in tutta l'estensione dell'atmosfera, non si produrrebbe, nel suo seno, alcuna corrente, e la pressione atmosferica, ad eguale altezza, sarebbe invariabile ed ovunque la stessa. Ma allorquando una certa regione dell'atmosfera si riscalda più delle regioni vicine, l'aria dilatata si innalza per effetto della sua leggerezza specifica e si effonde per le alte regioni dell'atmosfera; onde risulta che la pressione decresce e che il barometro si abbassa. Si produrrebbe lo stesso effetto, se una regione dell'atmosfera conservasse la medesima temperatura e le regioni vicine si raffreddassero: perchè allora l'aria della prima si effonderebbe ancora nella sua parte superiore sulle regioni vicine. Ordinariamente si os-

serva che un abbassamento straordinario, sopra un punto del globo, è compensato da un innalzamento corrispondente sopra un altro punto.

Le variazioni diurne sembrano risultare dalle dilatazioni e dalle contrazioni, che si producono periodicamente nell'atmosfera, per effetto dell'azione calorifica del sole durante la rotazione della terra.

146. **Relazione fra le variazioni barometriche e lo stato del cielo.** — Nei nostri climi si osserva che il barometro sta comunemente al di sopra di 0m,758, quando il tempo è bello; al di sotto di questo punto, durante la caduta della pioggia e della neve, durante il vento e i temporali; e, finalmente, che per un certo numero di giorni in cui il barometro segna 0m,758 vi sono, in media, tanti giorni di bel tempo quanti di pioggia. Per questa coincidenza fra l'altezza del barometro e lo stato del cielo, si segnarono le seguenti indicazioni sul barometro, contando di 9 in 9 millimetri, al di sopra e al di sotto di 0m,758.

Altezza	Stato dell'atmosfera
785 — . . .	assai secco.
776 — . . .	bello stabile.
767 — . . .	bel tempo.
758 — . . .	tempo variabile.
749 — . . .	pioggia o vento.
740 — . . .	pioggia abbondante.
731 millimetri . . .	temporale.

Consultando il barometro, come strumento adatto ad indicare i cambiamenti di *tempo*, non bisogna dimenticare che esso è realmente destinato a misurare soltanto il peso dell'aria, e che non s'innalza o non si abbassa se non in proporzione dell'aumento o della diminuzione di questo peso. Ora, dal fatto che i cambiamenti di tempo coincidono il più delle volte colle variazioni della pressione, non si può dedurre che fra quelli e queste siavi un rapporto invariabile. Questa coincidenza dipende da condizioni meteorologiche particolari al nostro clima, e non è senza eccezioni. L'abbassamento del barometro, che nelle nostre regioni precede ordinariamente la pioggia, è dipendente dalla posizione dell'Europa. Di fatti, i venti di sud-ovest, che sono i più caldi, e quindi i meno pesanti, fanno abbassare il barometro; ma nello stesso tempo, essendosi

saturati di vapor acqueo nell'attraversare l'Oceano, ci conducono la pioggia. Invece i venti di nord e di nord-est, essendo freddi e pesanti, fanno innalzare il barometro; ma siccome ci pervengono dopo di avere attraversati vasti continenti sono secchi, e, mentre essi dominano, per lo più, il cielo è puro e sereno.

Deluc ammetteva che i vapori, i quali hanno una densità minore di quella dell'aria, tendano colla loro pressione a diminuire il peso dell'atmosfera, e spiegava in tal modo la coincidenza della pioggia coll'abbassamento del barometro; ma questa spiegazione non può essere ammessa quando si consideri il fatto che nella zona torrida la pioggia ed il bel tempo non modificano punto l'altezza della colonna barometrica.

Da un grande numero di esperienze risulta che le indicazioni fornite dal barometro sono estremamente probabili, quando la colonna barometrica si innalza o discende lentamente, cioè per due o tre giorni, verso la pioggia. Le variazioni rapide in ambedue i versi presagiscono il cattivo tempo od il vento.

Ponendo mente alle precedenti osservazioni, non che alla direzione dei venti ed alla temperatura dell'aria, si possono dedurre dal barometro indicazioni utili, specialmente per la agricoltura. Bisogna però notare che la tabella indicatrice più sopra riportata è il risultato di antiche osservazioni fatte a Parigi. Ora, i fabbricatori di barometri adottarono uniformemente le medesime indicazioni per tutta la Francia e talvolta anche per gli altri paesi. Ne risulta che per regioni più elevate di Parigi, o situate in differenti condizioni geografiche, i barometri forniscono indicazioni del tutto false; ma non se ne devono accagionare questi strumenti, sibbene quelli che li fabbricano o quelli che li consultano. In ogni paese, le indicazioni del barometro sono modificate dalla posizione geografica: importa quindi tenerne calcolo.

147. **Barometro a quadrante.** — Il *barometro a quadrante,* dovuto ad Hook, è un barometro a sifone destinato specialmente ad indicare il bello od il cattivo tempo. Porta questo nome perchè è munito di un quadrante o mostra, su cui si muove un lungo indice (fig. 88), il quale, per mezzo di un meccanismo rappresentato nella figura 89, è messo in moto dal mercurio medesimo dello strumento. All'asse dell'indice è fissata una carrucola Q, sulla quale si avvolge un filo che porta ad una delle sue

estremità un peso P, ed all'altra un galleggiante alquanto più piccolo di P e sostenuto dal mercurio del ramo più piccolo del tubo barometrico. Se la pressione atmosferica aumenta, il livello si abbassa in questo tubo, il galleggiante discende e trascina la carrucola e l'indice da sinistra a destra. Avviene il movimento contrario quando la pressione diminuisce, perchè il mercurio si innalza nel ramo minore e con esso il galleggiante. D'onde risulta che l'indice si ferma alle parole *variabile*, *pioggia*, *bel tempo*, ecc., quando il barometro arriva alle altezze corrispondenti; però nella supposizione che la costruzione dello strumento sia stata ben regolata, la qual condizione di rado è soddisfatta in quelli che trovansi nel commercio.

Fig. 88. *Fig.* 89.

148. **Misura delle altezze per mezzo del barometro.** — Siccome la pressione dell'atmosfera decresce dal basso all'alto, così la colonna barometrica si deprime tanto più quanto è maggiore l'altezza a cui venga portato lo strumento. Per ciò il barometro è stato utilmente applicato a determinare la misura dell'altezza delle montagne.

Se la densità dell'aria rimanesse invariabile in tutti gli strati dell'atmosfera, con un calcolo semplicissimo si dedurrebbe l'elevazione di un luogo qualunque dalla depressione della colonna barometrica. Di fatti, siccome la densità dell'aria sta a quella del mercurio come 10466 : 1, così l'abbassamento, per esempio, di 1 millimetro, nel barometro portato ad una certa altezza, indicherebbe che la colonna d'aria, la quale fa equilibrio al mercurio, ha sofferto una diminuzione 10466 volte maggiore, cioè di

un millimetro moltiplicato per 10466, o 10m,466. Tale sarebbe quindi la misura di quell'altezza. Se la depressione del mercurio fosse di 2,3... millimetri, se ne dedurrebbe parimenti che l'innalzamento sarebbe stato due volte, tre volte..... 10m,466. Ma siccome la densità dell'aria decresce a misura che si considerano regioni atmosferiche più elevate, questo calcolo non può essere applicato che a piccole altezze.

Onde calcolare, per mezzo del barometro, l'altezza delle montagne, Laplace diede la formola

$$D = 18393\ (1 + 0{,}002837\ \cos\ )\ 2\varphi \left[1 + \frac{2\,(T + t)}{1000} \right] \log. \frac{H}{h} :$$

nella quale D rappresenta la differenza di livello cercata; H ed *h* rappresentano le altezze barometriche alla stazione inferiore ed alla superiore; T e *t* sono le temperature dell'aria osservate a ciascuna stazione; φ è la latitudine

Per la latitudine di 45°, si ha *cos* 2 φ = 0, e la formola diventa

$$D = 18393 \left[1 + \frac{2\,(T + t)}{1000} \right] \log. \frac{h}{H}.$$

Per altezze minori di 1000 metri, Babinet propose recentemente la formola

$$D = 16000^{m} \left(\frac{H - h}{H + h}\right) \left[1 + \frac{2\,(T + t)}{1000} \right]$$

colla quale si evita l'uso del logaritmi.

Oltmanns dispose delle tavole, per mezzo delle quali si calcola con moltissima speditezza la differenza di livello fra due stazioni, quando si conoscano le altezze H ed *h* del barometro alla stazione inferiore ed alla stazione superiore, e le temperature T e *t* alle medesime stazioni. Per queste tavole e per il loro uso, che è semplicissimo, rimandiamo il lettore all'Annuario dell'Ufficio delle longitudini.

Se l'altezza da misurare non è molto grande, l'operazione può essere eseguita da una sola persona; ma se è considerabile, in modo che abbisogni impiegare per la salita un tempo alquanto lungo, durante il quale può variare la pressione atmosferica, è necessario il concorso di due persone e di due barometri che siano in perfetto accordo. Uno degli osservatori resta ai piedi della montagna, l'altro ne sale la vetta, poi, ad un'ora determinata, ambedue osservano simultaneamente il barometro: in questo caso la differenza delle colonne non dipende che dalla differenza dei livelli.

CAPITOLO II.

MISURA DELLA FORZA ELASTICA DEI GAS.

149. **Legge di Mariotte**. — L'abate Mariotte, fisico francese, morto nel 1684, stabilì pel primo la legge seguente sulla compressibilità dei gas: *La temperatura rimanendo la stessa, i volumi che prende una data massa di gas sono in ragione inversa delle pressioni che essa sostiene.*

Fig. 90. *Fig.* 91.

Per l'aria questa legge si verifica col seguente apparato, conosciuto sotto il nome di *tubo di Mariotte*. Su di

una tavoletta di legno, sostenuta in direzione verticale, è fissato un tubo di vetro curvato a sifone, i cui due rami hanno diversa lunghezza (fig. 90). Accanto al ramo più breve, il quale è chiuso, avvi una scala indicante capacità eguali; parallelamente al ramo più lungo trovasi pure situata una scala di centimetri. Gli zeri di ambedue le scale sono sopra una stessa linea orizzontale.

Quando vogliasi eseguire l'esperimento, per l'estremità del ramo più lungo, si introduce nell'apparato del mercurio in tale quantità che il suo livello corrisponda allo zero nei due rami; il che si ottiene in seguito a qualche tentativo. L'aria rinchiusa nel ramo più corto trovasi allora sottoposta alla pressione atmosferica, che gravita nel ramo più lungo, sulla superficie del mercurio; altrimenti questo non sarebbe allo stesso livello nei due rami. Finalmente, si versa del mercurio nel tubo fino a tanto che la pressione che ne risulta riduca alla metà il volume dell'aria imprigionata nel ramo più corto; cioè fino a tanto che questo volume, il quale era dapprima 10, si riduca a 5, come dimostra la fig. 91. Misurando allora nei due tubi, la differenza di livello CA del mercurio, si trova che essa eguaglia precisamente l'altezza del barometro al momento in cui si eseguisce l'esperienza. Quindi la pressione della colonna CA equivale ad una atmosfera. Aggiungendovi la pressione atmosferica che gravita in C, alla sommità della colonna, si vede che allorquando il volume dell'aria trovasi ridotto alla metà, la pressione è doppia della primitiva, il che dimostra la legge.

Se il ramo più lungo ha una altezza sufficiente per potervi versare del mercurio fino a che il volume dell'aria contenuta nel ramo più corto si riduca al terzo del primitivo, si trova che, nei due tubi, la differenza di livello è eguale a due volte l'altezza del barometro: cioè che la pressione di questa colonna di mercurio equivale a due pressioni atmosferiche, le quali, aggiunte a quella che, nel ramo aperto, si esercita direttamente sulla superficie del mercurio, danno una pressione di tre atmosfere. Quindi il volume dell'aria, sotto una pressione tripla, si è ridotto ad un terzo.

La legge di Mariotte si verifica anche per pressioni minori di quella di una atmosfera. A tal'uopo si riempie di mercurio, fino circa ai due terzi, un tubo barometrico, lasciando l'altro terzo pieno di aria, indi si capovolge il tubo e se ne immerge l'estremità aperta in una campa-

nella molto alta e piena di mercurio (fig. 92). Si spinge allora in basso il tubo fino a che il livello del mercurio sia lo stesso tanto nell'interno quanto all'esterno, e si riconosce, mediante una scala fissata sulla campanella, qual sia il volume d'aria contenuto nel tubo. Quest'aria trovasi allora sottoposta alla pressione atmosferica; altrimenti il livello non sarebbe lo stesso nel tubo e nella campanella. Allora si solleva il tubo, come rappresenta la figura, fintanto che, per effetto della diminuzione della pressione, il volume dell'aria si raddoppii. A questo punto si trova che l'altezza del mercurio, nel tubo A, è la metà di quella del barometro. Quindi l'aria il cui volume si è raddoppiato non è sottoposta che alla pressione di mezza atmosfera; perchè la forza elastica di quest'aria, congiunta al peso della colonna sollevata, fa equilibrio alla pressione atmosferica esterna. Per ciò i volumi sono ancora in ragione inversa delle pressioni.

Fig. 92.

La legge di Mariotte era stata ammessa in un modo assoluto, sino a questi ultimi anni, per tutti i gas e sotto tutte le pressioni. Ma Despretz, per il primo, dimostrò che il gas acido carbonico, il gas acido solfidrico, il gas ammoniaco ed il gas cianogeno sono più compressibili dell'aria, e che il gas idrogeno si comporta come l'aria sino ad una pressione di 15 atmosfere, ma che a pressioni maggiori è meno compressibile. Avendo dimostrato gli esperimenti di Despretz che tutti i gas non sono egualmente compressibili, si conchiuse che la legge di Mariotte non era generale.

In appresso Dulong e Arago intrapresero sulla forza elastica del vapore acquoso delle ricerche nelle quali, per misurar la tensione, dovevano adoperare un manometro ad aria compressa (153). Ora, per assicurarsi dell'esattezza del loro manometro, lo graduarono non già secondo la legge di Mariotte, ma sottoponendo direttamente a pressioni gradatamente crescenti l'aria imprigionata.

Per ciò il tubo manometrico era immerso in una cassa di ghisa piena di mercurio, esattamente chiusa e co-

municante con un tubo verticale di 25 metri di altezza, il quale corrispondeva al lungo braccio del tubo di Mariotte, mentre il manometro faceva le veci del piccolo braccio. Ciò posto, versando gradatamente del mercurio nel lungo tubo, la pressione si trasmetteva al mercurio della cassa, ed il liquido si innalzava nel tubo manometrico comprimendo l'aria in esso contenuta. Ora, mano mano che il volume andava così riducendosi, l'altezza del mercurio nel lungo tubo faceva conoscere la pressione corrispondente. I due fisici, avendo continuato il loro esperimento sino a 27 atmosfere, osservarono che il volume dell'aria diminuiva sempre alquanto più che non indicasse la legge di Mariotte; ma siccome le differenze erano piccolissime, le attribuirono ad errori di ossservazione, ed ammisero che questa legge era rigorosamente esatta per l'aria, almeno sin dove erano arrivati coi loro esperimenti, alla pressione cioè di 27 atmosfere.

Finalmente, nel 1847 Regnault pubblicò, sulla compressibilità dei gas, degli esperimenti eseguiti con un apparato molto analogo a quello di Dulong ed Arago, ma disposto in modo che si potessero valutare tutte le cause di errore e fare delle osservazioni con una grandissima precisione. Ora, avendo sperimentato sull'aria, sul gas azoto, sul gas acido carbonico e sul gas idrogeno, Regnault constatò dapprima che l'aria non segue rigorosamente la legge di Mariotte, ma che si comprime più di quanto venga da questa legge indicato, ed inoltre che la sua compressibilità aumenta colla pressione; epperciò che i risultati ottenuti colla osservazione differiscono da quelli dedotti dalla legge di Mariotte tanto più quanto più forte è la pressione.

Regnault trovò che il gas azoto si comporta come l'aria, colla sola differenza che è meno compressibile; che il gas acido carbonico si allontana molto dalla legge di Mariotte quando le pressioni sono alquanto considerabili, e che, finalmente, se ne discosta pure il gas idrogeno, la cui compressibilità però, anzichè aumentare colla pressione, diminuisce.

Regnault osservò inoltre che il gas acido carbonico si allontana tanto meno dalla legge di Mariotte quanto più elevata è la temperatura. In generale però si ammette che anche gli altri gas si comportino nello stesso modo. Difatti, l'esperienza dimostra che i gas si discostano da questa legge tanto maggiormente quanto più sono vicini

alla liquefazione, e che, al contrario, quando si allontanano da questo punto, la loro compressibilità tende sempre più a diventare proporzionale alla pressione. Del resto aggiungiamo che per tutti i gas, i quali non si poterono ancor liquefare, la differenza tra la legge di Mariotte e l'osservazione sono piccolissime e tutt'affatto trascurabili negli esperimenti di fisica e di chimica, quando si considerino che pressioni poco considerabili, come si verifica nella maggior parte dei casi.

150. **Conseguenza della legge di Mariotte.** — Nell'esperimento del tubo di Mariotte, siccome la massa d'aria contenuta nel tubo rimane la stessa, la sua densità diventa necessariamente tanto maggiore quanto più si impiccolisce il suo volume; d'onde si deduce, come conseguenza della legge di Mariotte il seguente principio, il quale non è che un altro enunciato della stessa legge: *Per una stessa temperatura, la densità di un gas è proporzionale alla pressione cui trovasi sottoposto.* Per esempio, sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, la densità dell'aria essendo 770 volte minore di quella dell'acqua, sotto una pressione di 770 atmosfere l'aria avrebbe la stessa densità dell'acqua, qualora a questa pressione fosse ancora gasosa, ciò che non sappiamo.

Si può anche enunciare la legge di Mariotte dicendo che per una data massa di gas, presa alla stessa temperatura, il prodotto del volume per la pressione è costante.

Difatti, siano V il volume alla pressione P, e V' il volume alla pressione P'; secondo la legge di Mariotte, si ha

$$\frac{V}{V'} = \frac{-}{P'} \text{ d'onde } VP = V'P'.$$

15'. **Problemi sulla legge di Mariotte.** — I. Un vase a pareti compressibili contiene litri 4,3 d'aria alla pressione $0^m,74$: qual sarebbe il volume di quest'aria alla pressione $0^m,76$, rimanendo costante la temperatura?

Secondo la legge di Mariotte, il volume cercato ed il volume dato sono in ragione inversa delle pressioni alle quali trovansi sottoposti; quindi, rappresentando con V il volume incognito, si ha

$$V : 4\,3 = 74 : 76, \text{ d'onde } V = \frac{74 \times 4.3}{76} = \text{lit. } 4,186.$$

II. Si hanno 20 litri di gas sotto la pressione di una atmosfera: a qual pressione deve essere sottoposto questo gas perchè il suo volume riducasi ad 8 litri?

Rappresentando con P la pressione cercata si ha

$$8 : 20 = 1 \quad P; \text{ d'onde } P = \frac{20}{8} = 2 \text{ atm. } \frac{1}{2}.$$

III. Un litro d'aria pesa gr. 1,3 a 0° e sotto la pressione 76c di mercurio; quale ne sarebbe il peso, alla stessa temperatura, se la pressione fosse 72c?

$$76 : 73 = 1{,}3 : x, \text{ d'onde } x = \frac{1^{gr}{,}3 \times 72}{76} = 1^{gr}{,}23.$$

152. **Manometri.** — Chiamansi, in generale, *manometri* gli strumenti destinati a misurare la tensione dei gas o dei vapori, quando questa tensione sia superiore alla pressione atmosferica. Si distinguono *il manometro ad aria libera, il manometro ed aria compressa ed il manometro metallico.*

In questi differenti generi di manometri, l'unità di misura che venne scelta è la pressione atmosferica, quando il barometro segna $0^m{,}76$. Ora, abbiamo veduto (136) che questa pressione, sopra un centimetro quadrato, equivale al peso di 1 chilogrammo e 33 grammi; per conseguenza, dicendo che un gas ha una tensione di due, di tre atmosfere, si vuol esprimere che esso esercita, sopra ciascun centimetro quadrato delle pareti che lo contengono, una pressione eguale a due volte od a tre volte il peso di 1 chil. e 33 gr.

153. **Manometro ad aria libera.** — Il *Manometro ad aria libera* è composto di un tubo BD (fig. 93) di cristallo, lungo circa 5 metri, e di una vaschetta D, di ferro lavorato a martello, contenente del mercurio nel quale trovasi immerso il tubo. Quest'ultimo è saldamente unito con mastice alla vaschetta e fissato su di una tavoletta di abete lungo la quale avvi un altro tubo AC, di ferro, alto 4^m. La pressione del gas o del vapore si trasmette sino al mercurio della vaschetta per mezzo di questo tubo. Siccome i manometri si adoperano nel maggior numero dei casi per misurare la tensione del vapore, la cui temperatura elevata rammollirebbe il mastice che serve a fissare il tubo di cristallo alla vaschetta, così si riempie il tubo AC di acqua, la quale riceve direttamente la pressione del vapore, e la trasmette al mercurio.

Per graduare il manometro, si lascia che l'orifizio A comunichi coll'atmosfera, ed al livello a cui si arresta il mercurio entro il tubo di cristallo si segna la cifra 1, che esprime una atmosfera. Indi, partendo da questo punto, di 76 in 76 centrimetri, si segnano le cifre 2, 3, 4, 5, 6, le qnali indicano il numero delle atmosfere; poichè si sa che una colonna di mercurio dell'altezza di 76 centimetri rappresenta la pressione atmosferica. Finalmente, si divi-

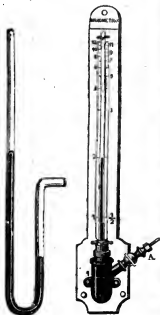
dono gli intervalli da 1 a 2, da 2 a 3.... in 10 parti eguali, le quali indicano i decimi di atmosfera.

Se si pone poscia il tubo A in comunicazione, per esempio, con una caldaja a vapore, il mercurio elevasi nel tubo BD ad una altezza che misura la tensione del vapore. Nella figura 93 il manometro segna 4 atmosfere, le quali sono rappresentate da 3 volte l'altezza di 76 centimetri, più la pressione atmosferica che agisce sulla sommità della colonna.

Il manometro ad aria libera è usato soltanto per le pressioni che non sorpassino 5 o 6 atmosfere. Per le pressioni superiori sarebbe necessario che il tubo BD avesse una lunghezza che lo renderebbe fragile ed incomodo. In tal caso si adopera il manometro seguente.

154. **Manometro ad aria compressa.** — Il *manometro ad aria compressa*, fondato sulla legge di Mariotte, risulta di un tubo di cristallo chiuso alla sua estremità superiore e pieno di aria secca. Il tubo è immerso in una vaschetta piena in parte di mercurio alla quale è fissato per mezzo di mastice. Questa vaschetta, mediante una tubulatura laterale A (fig. 94), è messa in comunicazione col vase chiuso contenente il gas od il vapore di cui vuolsi misurare la forza elastica.

Fig. 95. Fig. 94. Fig. 93.

La graduazione del manometro può essere conseguita coll'esperienza o col calcolo. Per graduarlo sperimentalmente si confrontano le sue indicazioni con quelle di un manometro ad aria libera. A quest'uopo, regolata la quantità di aria nel tubo in modo che alla pressione di una atmosfera il mercurio si trovi allo stesso livello nel tubo e nella vaschetta, si fanno

comunicare lo strumento ed il manometro ad aria libera, al quale vuolsi confrontarlo, con un recipiente nel quale si comprime lentamente dell'aria per mezzo di una tromba premente. Innalzandosi allora il mercurio nei due strumenti, mano mano che il manometro ad aria libera segna successivamente 1, 2, 3, atmosfere, si scrivono gli stessi numeri, al livello del mercurio, su di una scala situata lungo il tubo manometrico. Lo strumento si trova in tal caso graduato con esattezza, comunque il tubo abbia o no lo stesso diametro in tutta la sua lunghezza.

Si può anche graduare il manometro ad aria compressa col calcolo seguente, il quale suppone che il tubo abbia lo stesso diametro in tutta la sua lunghezza. Consideriamo dapprima il caso in cui il diametro interno della vaschetta sia abbastanza grande perchè si possa ammettere che il livello vi rimanga sensibilmente costante, allorchè il mercurio si innalza nel tubo. Essendo messo il manometro in comunicazione con un vase contenente un gas compresso, siano F la tensione in centrimetri in questo vase, h l'altezza del tubo manometrico incominciando del livello del mercurio nella vaschetta, ed x l'altezza alla quale si innalza il mercurio in conseguenza della pressione F.

La pressione esterna, essendo dapprima di un'atmosfera, o di 76 centimetri, il volume di aria nel tubo manometrico può essere rappresentato da h; in seguito, diventando F la pressione esterna, il volume d'aria si riduce ad $h - x$: l'aria è quindi allora più compressa ed acquista una tensione f che si calcola, secondo la legge di Mariotte, ponendo $\frac{f}{76} = \frac{h}{h - x}$

d'onde $f = \frac{76\,h}{h - x}$. Ora, F facendo equilibrio alla colonna di mercurio x

ed alla elasticità f dell'aria compressa, si ha $F = \frac{76\,h}{h - x} + x$ (1); d'onde

si deducono i due valori:

$$x' = \frac{(F + h) + \sqrt{(F + h)^2 - 4h\,(F - 76)}}{2}$$

$$x'' = \frac{(F + h) - \sqrt{(F + h)^2 - 4h\,(F - 76)}}{2}$$

La seconda è la sola che soddisfaccia alla questione, poichè, facendovi $F = 76$, risulta, come deve essere, $x = o$; facendovi successivamente $F = 2.\ 76,\ 3.\ 76,\ 4.\ 76 ...$, si trovano le altezze alle quali bisogna inscrivere sulla scala le cifre 2, 3, 4...

Se ora vuolsi tener conto della depressione del mercurio nella vaschetta, siano y' questa depressione, R il raggio interno della vaschetta, r quello del tubo manometrico, ed x l'ascesa del mercurio in quest'ultimo, l'ascesa

e la depressione del mercurio essendo in ragione inversa delle sezioni del tubo e della vasehetta, o, ciò che è lo stesso, in ragione inversa dei quadrati dei raggi di queste medesime sezioni, si ha:

$$\frac{y'}{x} = \frac{r^2}{R^2}, \text{ d'onde } y = \frac{r^2 x}{R^2}$$

Ciò posto, essendo attualmente $x + y'$ la differenza di livello nel tubo e nella vasehetta, la tensione F fa equilibrio ad una colonna di mercurio $x + y'$ più alla forza elastica dell'aria compressa nel tubo, la quale è ancora $\frac{76\ h}{x-h}$. Quindi si ha $F = x + y' + \frac{76\ h}{h - x}$. Sostituendo ad y il suo valore e riducendo,

$$F = \frac{(R^2 + r^2)\ x}{R^2} + \frac{76\ h}{h-x}\ (2).$$

Nel caso in cui il manometro consistesse semplicemente in un tubo ricurvo, chiuso alla sua estremità superiore e contenente del mercurio (fig. 90), si avrebbe $R = r$ ed allora la formola (2) diventa $F = 2x + \frac{76\ h}{h-x}$ (3).

155. **Manometro metallico di Bourdon.** — Bourdon, meccanico a Parigi, inventò recentemente un nuovo

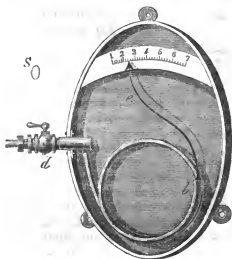



Fig. 96.

manometro rappresentato dalla figura 96. Questo strumento, il quale è tutto di metallo e senza mercurio, è fondato sul seguente principio: quando un tubo, a pareti

flessibili e leggermente appianate, è piegato ad elice nel verso del suo diametro minore, *ogni pressione interna sulla parete tende a svolgerlo, ed invece qualsiasi pressione esterna tende ad avvolgerlo maggiormente.*

Dietro questo principio, il manometro di Bourdon è composto di un tubo di ottone lungo $0^m,7$, le cui pareti sono sottili e flessibili. La sua sezione, la quale è rappresentata in S sulla sinistra della figura, è una ellisse il cui asse maggiore è di 11 millimetri, ed il minore di 4. L'estremità *a*, che è aperta, trovasi fissata ad una tubulatura a chiavetta *d*, destinata a mettere l'apparecchio in comunicazione con una caldaja a vapore. L'estremità *b* è chiusa e mobile come tutto il resto del tubo.

Ciò posto, essendo aperta la chiavetta *d*, la pressione che si produce, per effetto della tensione del vapore, sulle pareti interne del tubo, fa svolgere quest'ultimo. L'estremità *b* è allora trascinata da sinistra a destra, e con essa un lungo indice *e*, il quale segna sopra una mostra la tensione del vapore in atmosfere. Questa mostra è stata precedentemente graduata di confronto con un manometro ad aria libera sottoposto all'azione dell'aria compressa.

Fig. 97 ($a = 10$).

Il manometro di Bourdon offre sui precedenti il prezioso vantaggio di poter essere assai facilmente trasportato e di non essere fragile, per ciò è stato adottato per le locomotive di parecchie ferrovie.

156. **Barometro metallico di Bourdon.** — Bourdon inventò un barometro fondato sul medesimo principio del suo manometro. Tale strumento, rappresentato dalla figura 97, è composto di un tubo simile a quello del manometro, ma meno lungo; questo tubo è ermeticamento chiuso e fissato nel suo mezzo, di maniera che, essendovi stato previamente fatto il vuoto, quando la pressione atmosferica diminuisce, si svolge giusta il principio sopraccennato (155). Il movimento si trasmette in

seguito ad un indice, che segna la pressione su di una mostra. La trasmissione del movimento si effettua per mezzo di due piccoli fili metallici b ed a, i quali uniscono le estremità del tubo con una leva fissata all'asse dell'indice. Al contrario, se la pressione aumenta, il tubo si curva sopra sè stesso ed una piccola molla a spirale ne fa girare l'indice sulla mostra da destra a sinistra. Questo barometro ha un volume assai piccolo, è molto sensibile ed affatto semplice.

157. **Leggi delle mescolanze dei gas.** — Abbiamo veduto come nelle mescolanze dei liquidi non possa sussistere l'equilibrio se non quando questi siano sovrapposti in ordine delle loro densità crescenti dall'alto al basso (88), e la superficie di separazione di ciascuno di essi sia orizzontale. I gas, in virtù della loro forza espansiva, quando vengano mescolati, presentano invece le due seguenti condizioni di equilibrio:

1. *La mescolanza, la quale si compie sempre rapidamente, è stabile ed omogenea, di maniera che tutte le parti del volume totale contengono le stesse proporzioni di ciascun gas.*

2. *Se le pareti del vase in cui si fa la mescolanza sono inestensibili e la temperatura rimane costante, la forza elastica della mescolanza è eguale alla somma delle forze elastiche dei gas mescolati, essendo riferita ciascuna di esse al volume totale, secondo la legge di Mariotte.*

Si può anche enunciare questa seconda legge dicendo che *in una mescolanza di parecchi gas la pressione esercitata da ciascuno di essi è quale sarebbe se fosse solo.*

Fig. 98.

La prima legge è una conseguenza della estrema porosità dei gas e della loro forza espansiva. Essa è stata dimostrata per la prima volta dal chimico francese Berthollet, per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 98. Quest'apparecchio è composto di due palloni di vetro, ciascuno dei quali è munito di una tubulatura a chiavetta; i due palloni si uniscono a vite l'uno sul-

l'altro. Il pallone superiore era pieno di gas idrogeno, la cui densità è 0,692, e l'altro di gas acido carbonico, la cui densità è 1,529, cioè 22 volte maggiore. L'apparato fu posto in una cantina dell'Osservatorio, onde preservarlo da qualunque agitazione e dai cambiamenti di temperatura. Essendo stata aperta la chiavetta della tubulatura, l'acido carbonico, ad onta del suo eccesso di peso, passò in parte nel pallone superiore, e dopo qualche tempo si constatò che i due palloni contenevano proporzioni eguali di gas idrogeno e di gas acido carbonico. Tutti i gas che non esercitano fra loro azione chimica, sottoposti alla medesima esperienza, conducono allo stesso risultato. Ma si riconosce che la mescolanza si compie tanto più rapidamente quanto è più grande la differenza della densità.

La seconda legge è una conseguenza della legge di Mariotte. Ne deriva inoltre che, se le pareti del vase entro il quale si fa la mescolanza sono estensibili ed i gas mescolati sono soggetti alla pressione atmosferica, anche la forza elastica della mescolanza è eguale ancora alla pressione atmosferica; ma in tal caso il volume della mescolanza eguaglia la somma dei volumi dei gas mescolati. Finalmente, le mescolanze gasose sono sottoposte alla legge di Mariotte come i gas isolati, il che è già stato constatato per l'aria (149), la quale è una mescolanza di azoto e di ossigeno.

158. **Leggi delle mescolanze dei gas e dei liquidi.** — L'acqua e parecchi altri liquidi sono dotati della proprietà di assorbire i gas. Ma, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, un medesimo liquido non assorbisce quantità eguali di differenti gas. Per esempio, alla temperatura ed alla pressione ordinaria, l'acqua scioglie 25 millesimi del suo volume di gas azoto, 46 millesimi del suo volume di gas ossigeno, un volume eguale al proprio di gas acido carbonico e 430 volte il proprio volume di gas ammoniaco. Il mercurio sembra rifiutarsi interamente alla penetrazione dei gas.

L'esperienza dimostra che le mescolanze dei gas e dei liquidi sono sottoposte alle tre leggi seguenti:

1. *Per uno stesso gas, uno stesso liquido ed una stessa temperatura, il peso di gas assorbito è proporzionale alla pressione.* Ciò vuol dire che a tutte le pressioni il volume sciolto è lo stesso; ovvero che la densità del gas assorbito è in rapporto costante con quella del gas esterno non assorbito.

2.ª *La quantità di gas assorbito è tanto maggiore quanto è più bassa la temperatura,* cioè quanto è più piccola la forza elastica dei gas.

3.ª *La quantità di gas che un liquido può sciogliere è indipendente dalla natura e dalla quantità degli altri gas che già tiene in soluzione.*

Difatti, se invece di un solo fluido elastico l'atmosfera sovrastante al liquido ne contiene parecchi, si trova che ognuno di questi gas, qualunque ne sia il numero, si scioglie nella proporzione in cui si scioglierebbe se fosse solo, tenendo a calcolo però la pressione che gli è propria. Per esempio, siccome il gas ossigeno forma quasi esattamente $^1/_5$ dell'aria, l'acqua nelle condizioni ordinarie assorbisce precisamente la stessa quantità di ossigeno come se l'atmosfera fosse interamente formata di questo gas, sotto una pressione eguale ad $^1/_5$ dell'aria atmosferica ordinaria.

Dietro la prima legge, quando la pressione diminuisce la quantità di gas sciolto deve decrescere, il che si verifica collocando una soluzione gasosa sotto la campana della macchina pneumatica e facendo il vuoto; di fatti, allora si vede che il gas obbedisce alla sua forza espansiva e si sviluppa sotto forma di bolle. Si ottiene lo stesso effetto anche colla elevazione della temperatura, aumentando la forza elastica del gas sciolto.

159. **Equilibrio dei fluidi le cui diverse parti non hanno eguale densità.** — In una massa liquida o gasosa non può esservi equilibrio se non quando la pressione essendo la stessa in ogni punto di ciascuno strato orizzontale (80), altrettanto accada della densità; altrimenti le parti meno dense si sollevano nella massa fluida alla stessa guisa dei corpi galleggianti (97) e le più dense si abbassano. Per conseguenza, affinchè vi sia equilibrio in una massa fluida, bisogna: 1.° *che la temperatura sia la stessa in tutti i punti di uno strato orizzontale;* 2.° perchè l'equilibrio sia stabile *gli strati fluidi devono essere disposti in ordine di densità crescente dall'alto in basso* (88).

Ora, siccome i liquidi ed i gas sono dilatabili per l'azione del calore, la loro densità decresce al crescere della temperatura, e, per conseguenza, la seconda delle anzidette condizioni non può essere soddisfatta, almeno pei liquidi, se non allorquando gli strati inferiori siano più freddi dei superiori. Ma pei gas, i quali sono assai compressi-

bili, non è necessario che gli strati superiori siano più caldi degli inferiori, perchè in questi ultimi la densità è aumentata della maggior compressione: basta dunque che l'aumento di densità per effetto della pressione, negli strati inferiori, sia maggiore del decremento dovuto all'innalzamento di temperatura: il che generalmente accade nell'atmosfera.

Le correnti che nascono in una massa fluida dalle differenze di densità, cagionate da differenze di temperatura dei varii strati, producono l'aspirazione dei camini e la circolazione dell'acqua calda in alcuni apparecchi di riscaldamento. Parleremo di queste applicazioni (libro VI, capitolo XI) dopo che avremo fatto conoscere le dilatazioni dei liquidi e dei gas.

CAPITOLO III.

PRESSIONI SOSTENUTE DAI CORPI IMMERSI NELL'ARIA, AEROSTATI.

160. Principio di Archimede applicato ai gas. — Si è già veduto (129) che gli stessi ragionamenti i quali hanno condotto al principio di Archimede per i liquidi sono parola per parola applicabili ai gas, d'onde si conchiude che *ogni corpo immerso nell'atmosfera vi perde una parte del suo peso eguale al peso dell'aria che sposta.*

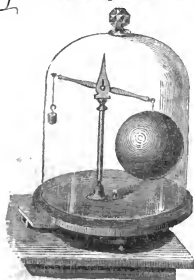



Fig. 99 ($a = 20$).

Questa perdita di peso nell'aria si dimostra col *baroscopio.* Si dà un tal nome ad un apparato il quale consiste in un giogo di bilancia che porta ad una delle estremità una piccola massa di piombo, ed all'altra una sfera cava di ottone il cui volume è presso a poco di un mezzo decimetro cubo (fig. 99). Nell'aria i due corpi si fanno equilibrio. Ma se si pone l'apparato sotto il recipiente della macchina pneumatica e si fa il vuoto, si vede che

il giogo si inclina verso la sfera, come dimostra la figura; d'onde si deduce che la sfera pesa realmente di più della piccola massa di piombo, perchè in questa circostanza i due corpi non sostengono alcuna pressione, ed obbediscono unicamente alla gravità. Quindi, nell' aria, la sfera perdeva una certa parte del suo peso. Se, con questo stesso apparato, si vuol verificare che una tale perdita è eguale al peso dell'aria spostata, si misura il volume della sfera, che supporremo eguale ad un mezzo litro. Siccome il peso di un egual volume di aria è di gr. 0,65 (128), così si aggiunga questo peso alla piccola massa di piombo. L'equilibrio che dapprima aveva luogo nell'aria non sussiste, ma nel vuoto si ristabilisce.

Siccome il principio di Archimede si verifica pei corpi immersi nell'aria, così si può ad essi applicare tutto quanto abbiamo detto dei corpi immersi nei liquidi (97); cioè, quando un corpo è più pesante dell'aria da esso spostata, cade in virtù dell' eccesso del suo peso sulla spinta del fluido; se il peso del corpo eguaglia quello dell'aria che esso sposta, il suo peso e la spinta dal basso all' alto si fanno equilibrio ed il corpo nuota nell'atmosfera. Finalmente, se il corpo pesa meno dell'aria che sposta, prevale la spinta ed il corpo si innalza nell'atmosfera fino a che incontri degli strati di aria aventi una densità eguale alla propria densità media. La forza ascensiva è in questo caso eguale all'eccesso della spinta sul peso del corpo. Tale è la causa per cui il fumo, i vapori, le nubi, gli aerostati si innalzano nell' atmosfera.

AEROSTATI.

161. **Invenzione degli aerostati.** — Gli *aerostati* o *palloni* sono globi di stoffa leggiera ed impermeabile, i quali, pieni d'aria calda o di gas idrogeno o di gas illuminante, si innalzano nell' atmosfera in virtù della loro relativa leggerezza.

L'invenzione degli aerostati è attribuita ai fratelli Stefano e Giuseppe Mongolfier, fabbricatori di carta nella piccola città di Annonay, ove il 5 giugno 1783 se ne fece la prima prova. Questo primo pallone era un globo di tela rivestita di carta, della circonferenza di 36 metri e del peso di 250 chilogrammi. Era aperto alla parte inferiore e fu gonfiato con aria calda, abbruciandovi al di sotto della carta, della lana, della paglia bagnata.

« Udendo la notizia di questo fatto, scriveva l'accademico Lalande, noi tutti dicemmo; così deve essere; come mai non vi si è pensato prima! » Vi era stato pensato; ma avvi ancora un gran tratto dal concepire un'idea al mandarla ad effetto. Blak, professore di fisica ad Edimburgo, nel 1767, annunziò nelle sue lezioni che una vescica piena di gas idrogeno si innalzerebbe da sè stessa nell'atmosfera; ma egli non fece mai quest'esperimento, considerandolo unicamente come di passatempo. Finalmente, Cavallo, nel 1782, aveva comunicato alla Società reale di Londra alcune sue esperienze le quali consistevano nel riempire di gas idrogeno delle bolle di sapone che si innalzavano da sè stesse nell'atmosfera, essendo piene di un gas più leggiero dell'aria.

Comunque sia, i fratelli Mongolfier, quando fecero la loro prova, non conoscevano nè gli sperimenti di Cavallo, nè il progetto di Black. Siccome essi usarono esclusivamente l'aria calda per riempire i loro palloni, così chiamaronsi *Mongolfiere* i palloni ad aria calda, per distinguerli dagli aerostati a gas idrogeno, i soli che vengano usati oggidì per le ascensioni.

Charles, professore di fisica a Parigi, morto nel 1823, fu il primo che sostituì il gas idrogeno all'aria calda. Il 27 agosto del 1783, si fece innalzare un pallone gonfiato con questo gas al Campo di Marte. « Non fu mai data, così scrive Mercier, una lezione di fisica innanzi ad un uditorio più numeroso e più attento. »

Il 21 novembre del medesimo anno, Pilâtre de Rozier, in compagnia del cavaliere d'Arlandes intraprese il primo viaggio aereo in un pallone libero, ad aria calda. L'ascensione ebbe luogo nel giardino della Muta, vicino al bosco di Boulogne. Gli aeronauti, per conservare dilatata l'aria interna, mantenevano al di sotto del pallone un fuoco di paglia inumidita, onde era continuo il pericolo di comunicare il fuoco all'inviluppo.

Dopo dieci giorni, nel giardino delle Tuileries, Charles e Robert ripetevano il medesimo esperimento con un pallone a gas idrogeno.

Il 7 gennajo 1785, Blanchard, in compagnia del dottore Ieffries, fece, pel primo, il viaggio da Douvres a Calais. I due aeronauti non giunsero alle coste di Francia che a grande stento e dopo di aver gettati in mare perfino i loro abiti, onde rendere più leggiero il pallone.

In appresso, si fece un numero considerabile di ascen-

sioni. Quella di Gay-Lussac, fatta nel luglio del 1804, fu la più importante di tutte pei fatti di cui arricchì la scienza e per l'altezza cui arrivò il celebre fisico, altezza che fu di 7016^m al di sopra del livello dei mari. In seguito, Green giunse ad un'altezza ancor maggiore. All'altezza cui giunse Gay-Lussac, il barometro era disceso a 32 centimetri, ed il termometro centigrado, il quale, alla superficie del suolo, segnava 31°, si abbassò sino a 9°,5 sotto zero. In una recente ascensione si trovò alla stessa altezza una temperatura molto più bassa.

In queste alte regioni la secchezza era tale, nel giorno dell' ascesa di Gay-Lussac, che le sostanze igrometriche, quali la carta, la pergamena, si essiccavano e si contorcevano come se fossero state avvicinate al fuoco. I movimenti della respirazione e quelli della circolazione del sangue, a motivo della grande rarefazione dell' aria, si rendevano molto più frequenti. Gay-Lussac constatò che il suo polso dava 120 battute per ogni minuto, mentre nelle circostanze ordinarie ne dava 66. A questa grande altezza il cielo si mostra tinto in turchino assai cupo volgente al nero, e regna all'intorno dell'aeronauta un silenzio assoluto e solenne.

Gay-Lussac si innalzò nel cortile del Conservatorio delle arti e dei mestieri, e discese nelle vicinanze di Rouen, dopo di aver percorso in sei ore circa 30 leghe.

162. **Costruzione, gonfiamento ed ascensione degli aerostati.** — L'inviluppo degli aerostati è formato di lunghi fusi di taffettà uniti insieme e intonacati di una vernice di gomma elastica, che rende impermeabile il tessuto. Alla sommità del pallone trovasi una valvola chiusa da una molla e che l'aeronauta può aprire ad arbitrio per mezzo di una corda. Al di sotto del pallone è sospesa una navicella leggiera di vimini, nella quale possono collocarsi parecchie persone, e che viene sostenuta da una rete di corda, la quale avviluppa interamente il pallone (fig. 100 e 101).

Un pallone di dimensioni ordinarie, capace di elevare facilmente tre persone, ha circa 15 metri di altezza, 11 metri di diametro al suo equatore, ed il suo volume, allorchè trovasi interamente gonfiato, è di circa 700 metri cubi. L'inviluppo pesa 100 chil. e gli accessorii, quali la rete e la navicella, pesano 50 chil.

I palloni si gonfiano o col gas idrogeno puro o col gas idrogeno carbonato che serve per la illuminazione. Que-

st' ultimo gas, quantunque più denso del primo, viene oggidì generalmente adoperato perchè si può averlo più facilmente ed a minor costo dell' idrogeno puro. Di fatti, basta guidarlo all' aerostato dal gasometro più vicino, o da un tubo di distribuizione per mezzo di un condotto di tela gommata.

La figura 100 rappresenta un pallone gonfiato con gas

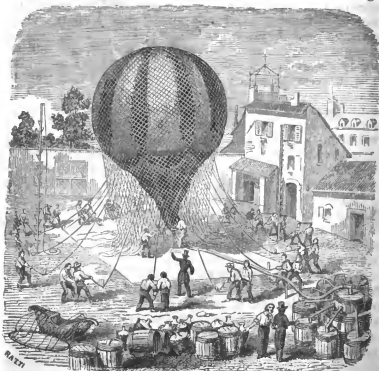



Fig. 100 ($a = 15$m.).

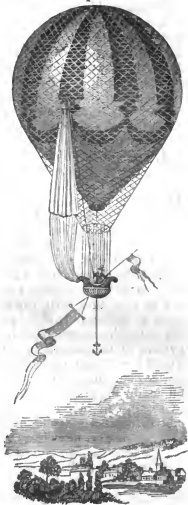
idrogeno puro. Alla destra della figura si vede una serie di botti nelle quali trovansi dei ritagli di ferro, dell' acqua e dell'acido solforico, che sono le sostanze necessarie per la preparazione dell' idrogeno. Da ciascuna botte il gas passa sotto una botte centrale priva di fondo ed immersa in un tino pieno d'acqua. Il gas, dopo d'essersi lavato in quest' acqua, entra nell' aerostato per mezzo di un lungo tubo di latta fissato con una estremità alla botte centrale e coll' altra all' aerostato.

Per facilitare l' introduzione del gas nel pallone si pian-

tano due pali: alla loro sommità è fissata una carrucola sulla quale si avvolge una corda, che scorre in un anello congiunto alla corona della valvola. Con questo mezzo si solleva dapprima l'aerostato all'altezza di circa un metro al di sopra del suolo e vi si fa pervenire il gas; indi, a misura che il pallone si riempie, lo si solleva maggiormente, usando l'avvertenza di aiutarlo a svilupparsi fintanto che non ha più d'uopo d'essere sostenuto. Ma allora bisogna opporsi alla sua forza ascensiva. Per ciò alcune persone lo trattengono per mezzo di corde fissate alla rete. Altro non resta che distaccare dall'aerostato il tubo che ha servito a guidarvi il gas ed attaccare la navicella alla rete. Per questi diversi preparativi abbisognano almeno due ore. L'aeronauta si colloca finalmente nella navicella; ad un dato segnale si lasciano libere le corde, ed il pallone si innalza con una velocità tanto maggiore, quanto è più leggiero relativamente all'aria spostata (fig. 101).

Fig. 101.

Il pallone non deve essere gonfiato compiutamente perchè la pressione atmosferica diminuisce a misura che esso si innalza, ed il gas interno, dilatandosi in virtù della sua forza espansiva, tende a far scoppiar l'aerostato.

Basta che la forza ascensiva, cioè l'eccesso del peso dell'aria spostata relativamente al peso totale dell'apparato, sia di 4 a 6 chilogrammi. Devesi notare che questa forza rimane costante fintanto che il pallone non è compiutamente gonfiato dalla dilatazione del gas interno. Di fatti,

se la pressione atmosferica è ridotta, per esempio, alla metà, il gas dell'aerostato, dietro la legge di Mariotte, raddoppia di volume. Per ciò il volume d'aria spostato è raddoppiato anch'esso: d'altronde la sua densità trovasi ridotta alla metà; quindi il suo peso e, per conseguenza, la spinta dal basso all'alto, non hanno subìto alcun cambiamento. Ma se il pallone è del tutto gonfiato e continua ad innalzarsi, la forza ascensiva decresce, perchè, mentre resta costante il volume d'aria spostato, la densità di questo fluido diminuisce progressivamente; quindi giunge un istante in cui la spinta è nulla. Per conseguenza il pallone non fa allora che seguire una direzione orizzontale, trascinato dalle correnti d'aria che dominano nell'atmosfera.

L'areonouta può desumere dalle indicazioni dal barometro se si innalzi oppure se discenda. Nel primo caso la colonna di mercurio si abbassa, nel secondo si innalza. Da questo medesimo strumento può desumere anche l'altezza a cui si trova. Una lunga banderuola fissata alla navicella (fig. 101) serve pure ad indicare se il pallone si innalzi o discenda, mediante la posizione ch' essa prende al di sotto o al di sopra della navicella.

Quando l'areonauta vuole discendere tira la corda che apre la valvola situata alla parte superiore del pallone; allora esce una certa quantità di gas idrogeno ed il pallone si abbassa. Invece, per rallentare la discesa, quando sia soverchiamente rapida, o per innalzarsi di nuovo onde evitare di discendere in un luogo pericoloso, l'aeronauta vuota dei sacchi di tela pieni di sabbia di cui ha l'avvertenza di munirsi in quantità sufficiente. Il pallone, in tal modo alleggerito, si innalza di nuovo e può discendere in seguito in luogo più propizio. Si rende anche più facile la discesa sospendendo, per mezzo di una lunga fune, un'àncora alla navicella. Quando quest'àncora siasi fissata ad un'ostacolo, si può discendere lentamente esercitando una trazione sulla corda.

Gli aerostati fino al presente non ebbero alcuna importante applicazione. Alla battaglia di Fleurus, nel 1794, si fece uso di un pallone trattenuto da una corda e in cui trovavasi un osservatore, il quale, per mezzo di segnali, faceva conoscere i movimenti del nemico. Si intrapresero anche parecchie ascensioni allo scopo di fare delle osservazioni meteorologiche nelle alte regioni dell'atmosfera. Ma gli aerostati potranno essere di vera utilità sol quando si troverà il modo di dirigerli. I tentativi fatti a questo

scopo sono stati fino ad ora infruttuosi. L'unica risorsa che si ha oggidì è di innalzarsi nell'atmosfera sino a tanto che si incontri una corrente d'aria, la quale porti il pallone presso a poco nella direzione che si vuol seguire.

163. **Paracadute.** — Per mezzo del *paracadute* l'aeronauta può abbandonare il pallone e rallentare la velocità della caduta. Quest'apparato risulta di un ampio pezzo di tela circolare (fig. 102) di circa 5 metri di diametro e che, per effetto della resistenza dell'aria, si stende in forma

Fig. 102.

di un vasto ombrello e cade lentamente. Al lembo di questo pezzo di tela sono attaccate delle corde, che sostengono la navicella in cui si colloca l'aeronauta. Al centro del paracadute avvi una apertura a traverso della quale sfugge l'aria compressa in conseguenza della discesa; altrimenti si producono delle oscillazioni, che si comunicano alla navicella e possono essere pericolose.

Nella figura 101 vedesi, allato al pallone, un paracadute piegato ed attaccato alla rete mediante una corda, che passa

su di una carrucola e poi si unisce alla navicella. Basta lasciar libera questa corda perchè il paracadute abbandoni l'aerostato.

G. Garnerin fu il primo che discese col paracadute, ma pare che l'inventore ne sia stato Blanchard.

164. **Calcolo del peso che un pallone può elevare.** — Per calcolare il peso che può essere sollevato da un pallone di determinante dimensioni, supposto che esso sia perfettamente sferico, si ricorre alla formola $V = \frac{4 \pi R^3}{3}$, la quale, come si sa dalla geometria, rappresenta il volume di una sfera che ha R per raggio, mentre π esprime il rapporto della circonferenza al diametro. Si immagini un pallone pieno di gas idrogeno e del diametro di 11 metri. Se fosse compiutamente gonfiato, dietro la formola sopraccennata, avrebbe un volume di 696 metri cubi. Ma siccome, in generale, all'istante in cui incomincia l'ascensione è gonfiato soltanto per metà, così bisogna supporre il volume eguale soltanto a 348 metri cubi. Tale è quindi il volume d'aria spostato al momento in cui comincia l'ascensione. Ora, siccome un litro d'aria pesa gr. 1,3 (128), 1 metro cubo pesa 1 chil., 300 gr., onde 348 metri cubi d'aria pesano 452 chilogrammi. È questa la spinta che tende a sollevare il pallone (159). Per calcolare la forza reale ascensiva, bisogna sottrarne il peso dell'idrogeno contenuto nel pallone, nonchè quello dell'inviluppo e degli accessorii. Ora, essendo il peso dell'idrogeno presso a poco 1/14 di quello dell'aria, il peso del gas contenuto nel pallone è all'incirca 1/14 di 452, cioè 32 chil. Aggiungendo a questo peso quello dell'inviluppo e degli accessorii, calcolato di 150 chil., il peso che devesi sottrarre da 452 è 182. Rimangono adunque 270 chilogrammi per la forza ascensiva, e, siccome basta che questa forza sia di 5 chil, si vede che il pallone può sollevare 265 chil.

CAPITOLO IV.

APPARECCHI FONDATI SULLE PROPRIETÀ DELL'ARIA.

165. **Macchina pneumatica.** — La *macchina pneumatica* è un apparato che serve a fare il vuoto in un dato spazio, o, più precisamente, a rarefare l'aria perchè non può fornire il vuoto assoluto.

Questa macchina è stata inventata da Ottone di Guericke, borgomastro di Magdeburgo, nel 1650, pochi anni dopo l'invenzione del barometro. La macchina di questo fisico aveva un sol corpo di tromba. Hawksbee, fisico inglese, adottò, pel primo, due corpi di tromba e rese così l'uso della macchina più pronto e meno faticoso, per la

ragione che le pressioni esercitate dall'atmosfera sui due stantuffi si equilibrano, e quindi non rimane da vincere che la differenza delle pressioni esercitate sotto gli stantuffi, in virtù della forza elastica dell' aria che si trova nel corpo di tromba.

La macchina pneumatica che si costruisce oggidì è composta di due cilindri di cristallo, in ciascuno de'quali avvi uno stantuffo P (fig. 103) risultante di parecchi dischi di cuojo sovrapposti gli uni agli altri ed unti d'olio, in modo che la loro periferia si trovi a perfetto contatto colle pareti dei cilindri e sia reso impossibile il passaggio dell'aria. A ciascuno stantuffo è fissata un' asta dentata i cui denti ingranano con un rocchetto H (fig. 105),

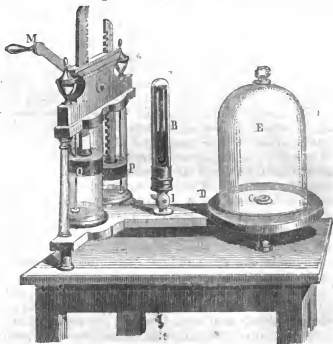



Fig. 103. ($a = 70$).

che si fa muovere alternativamente da sinistra a destra e da destra a sinistra per mezzo di una manovella M N; di maniera che quando uno degli stantuffi si innalza, l'altro si abbassa.

I due corpi di tromba, alla loro base, sono uniti con mastice ad un sostegno d'ottone, il quale alla estremità

opposta, termina con un disco D (fig. 103) coperto da una lastra di cristallo grossa e bene appianata. Su questo disco, che chiamasi il *piatto*, si colloca il *recipiente* E nel quale vuolsi fare il vuoto. Al centro C del piatto avvi una apertura che fa comunicare l'interno del recipiente coi corpi di tromba, per mezzo di un canale rappresentato, in pianta, dalla figura 99, e che si biforca secondo *Kcbs* e *Kcdo*.

La figura 105 rappresenta una sezione verticale ed anteriore dei corpi di tromba. Essa mostra come il rocchetto H, mosso dalla manovella MN, trasmetta il movimento alle due aste dentate e quindi agli stantuffi P e Q. Questi ultimi non sono massicci; nel loro interno trovasi una cavità cilindrica chiusa alla base da una piccola valvola tenuta in posto da una debole molla. La cavità nella quale è collocata questa valvola comunica colla parte superiore del corpo di tromba per mezzo di un foro praticato al di sopra della valvola e sempre aperto, a fine di permettere l'uscita dell'aria. Oltre le valvole situate nell'interno degli stantuffi, ve ne sono due altre, di forma conica, *o* ed *s*, alla base dei corpi di tromba. Ciascuna di esse è fissata ad un'asta di ferro che scorre a sfregamento dolce nel massiccio degli stantuffi. Queste valvole aprono e chiudono alternativamente la via di comunicazione fra i corpi di tromba ed il recipiente. Per esempio, lo stantuffo P nel discendere trascina seco l'asta di ferro, e fa chiudere la valvola *s*. Quando si innalza, l'asta e la valvola sono elevate, ma per brevissimo tratto, perchè questa asta è siffattamente lunga che va ben presto ad urtare contro il piatto superiore del corpo di tromba. Allora non fa che scorrere nello stantuffo, il quale si innalza da solo.

Per intendere come agisca la macchina, basta considerare ciò che avviene in uno dei corpi di tromba, poichè accade altrettanto nell'altro. Quando, per esempio, lo stantuffo Q, mediante la manovella, si solleva dal fondo del corpo di tromba, trascina con sè l'asta e la valvola *o*. La valvola che trovasi nell'interno dello stantuffo intanto resta chiusa per effetto del proprio peso e di quello dell'atmosfera; perchè nelle basi superiori dei corpi di tromba sono praticate delle piccole aperture *m* ed *n*, a traverso le quali si trasmette la pressione atmosferica. Essendo così disposte le valvole, mentre lo stantuffo si innalza, tende a prodursi al di sotto di esso il vuoto; ma l'aria

del recipiente, obbedendo alla propria elasticità, passa in parte nel corpo di tromba per l'orifizio *o*. Se, per esempio, la capacità del corpo di tromba è $^1/_{20}$ di quella del recipiente, $^1/_{21}$ della massa dell'aria di quest'ultimo passa nel corpo di tromba.

Quando lo stantuffo discende, l'asta della valvola *o* è trascinata dall'alto al basso; questa valvola si chiude e l'aria del corpo di tromba non può ritornare nel recipiente. Mentre lo stantuffo continua a discendere, l'aria che si trova al di sotto si comprime sempre più, fintanto che la sua forza elastica, diventata maggiore della pressione atmosferica, solleva la valvola che trovasi nell'interno dello stantuffo, e, attraversando l'apertura praticata alla sua parte superiore, sfugge nell'atmosfera. Quando lo stantuffo è giunto alla fine della sua corsa, trovasi scacciata la massima parte dell'aria che era stata estratta dal recipiente. Ad un secondo colpo di stantuffo si riproduce la stessa serie di fenonemi, e così successivamente in ambedue i corpi di tromba fino a tanto che si giunge al punto in cui l'aria fornita dal recipiente è talmente rarefatta che non può più sollevare la valvola interna dello stantuffo, anche quando esso trovasi alla fine della sua corsa. Infatti, per quanto una macchina pneumatica sia bene eseguita, non è possibile evitare, sotto le valvole e sul contorno della superficie inferiore dello stantuffo uno *spazio nocivo*, ove si ricetta una piccola quantità di aria. Epperciò, quando la refazione è spinta ad un certo limite, arriva un istante in cui, quantunque lo stantuffo si applichi sulla base del corpo di tromba, l'aria che rimane imprigionata nello spazio nocivo non acquista una tensione sufficiente per sollevare la valvola, e da questo istante la macchina cessa di funzionare.

166. **Provino della macchina pneumatica**. — Dopo di aver fatto agire gli stantuffi per un certo tempo, si desume la misura della forza elastica dell'aria che rimane nel recipiente dalla differenza di livello nel mercurio nei due rami di un tubo di vetro curvato a sifone, uno dei quali è chiuso e l'altro aperto, come nel barometro. Questo piccolo strumento, chiamato *provino* o *barometro troncato*, perchè è un vero barometro avente una altezza minore di 76 centimetri, trovasi fissato su di una scala verticale e collocato sotto una campana B di cristallo (fig. 103), la quale comunica col recipiente E per mezzo del condotto che va dall'orifizio C ai corpi di tromba. Il

ramo chiuso e la parte curva del tubo furono previamente riempiti di mercurio.

Ciò posto, la forza elastica dell'aria contenuta nel recipiente e nella campana B, innanzi che se ne incominci l'aspirazione, fa equilibrio al peso della colonna di mercurio nel ramo chiuso del provino, e questo ramo si conserva pieno; però, a misura che l'aria viene rarefatta per l'azione degli stantuffi, questa forza diminuisce e ben presto non può più fare equilibrio alla colonna di mercurio. Allora quest'ultima si abbassa ed il mercurio tende a porsi allo stesso livello nei due rami. Se si giungesse a fare il vuoto assoluto, questa eguaglianza di livello si stabilirebbe esattamente, perchè mancherebbe ogni pressione e da un lato e dall'altro. Ma, colle migliori macchine, il livello, nel ramo chiuso, rimane sempre più elevato almeno di un millimetro; onde si deduce che il vuoto non è perfetto, perchè rimane ancora una quantità d'aria la cui tensione fa equilibrio ad una colonna di mercurio dell'altezza di un millimetro.

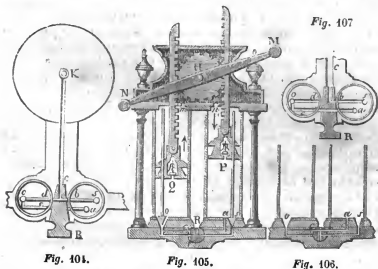
Praticamente, la macchina pneumatica non può dare il vuoto assoluto, perchè arriva un istante in cui l'aria che vi rimane è talmente rarefatta, che, anche quando gli stantuffi giungono alla fine della loro corsa, ha una forza elastica sufficiente per vincere la pressione atmosferica che gravita sulle valvole collocate nell'interno degli stantuffi, e queste allora cessano di aprirsi. Il vuoto assoluto è impossibile anche teoricamente, perchè, se il volume di ciascun corpo di tromba è, per esempio, $^1/_{20}$ di quello del recipiente, ad ogni colpo di stantuffo si estrae soltanto $^1/_{21}$ della massa dell'aria che rimane nel recipiente, e giammai non se ne toglie tutta quella che esso contiene. Di fatti, si dimostra col calcolo che il numero dei colpi di stantuffo crescendo in progressione aritmetica, la forza elastica dell'aria del recipiente decresce in progressione geometrica; d'onde si conchiude che si richiederebbe un numero infinito di colpi per estrarre tutta l'aria del recipiente.

167. **Chiavetta a doppio canale.** — Babinet applicò alla macchina pneumatica (*) una chiavetta colla

(*) La modificazione di Babinet venne pubblicata nel 1828, mentre già nel 1827 il professore Belli aveva fatto conoscere una consimile disposizione di condotti destinata allo stesso scopo.

(*Nota dei Trad.*)

quale si ottiene la rarefazione dell'aria ad un grado più elevato di quello che si conseguisse colle antiche macchine. Questa chiavetta è collocata alla biforcazione del canale chè conduce l'aria dal recipiente ai due corpi di tromba, e nel massiccio di essa sono praticati parecchi condotti di cui si approfitta successivamente collocandola in due posizioni differenti. La figura 104 rappresenta una sezione orizzontale della chiavetta B situata in posizione tale da stabilire la comunicazione fra l'orifizio K del piatto e le valvole *o* ed *s*, per mezzo della sua apertura centrale e delle due aperture laterali. La macchina agisce allora nel modo sopraccennato (165). La figura 107 rappresenta la chiavetta dopo che si è fatta rotare di un quarto di giro; il canale trasversale *db*, che nella figura 104 era orizzontale, ora è verticale, ed i suoi orifizii si trovano chiusi dalle pareti che abbracciano la chiavetta. Ma un secondo condotto, che prima era inoperoso e che prese il posto del

Fig. 104. *Fig.* 105. *Fig.* 106.

primo, mette ora il *solo* corpo di tromba destro in comunicazione col recipiente mediante il canale *cbs* (fig. 107); inoltre il corpo di tromba destro è messo in comunicazione col sinistro per mezzo di un condotto *aeo* (fig. 107), o *aico* (fig. 106). Questo condotto incomincia all'apertura centrale *a* situata nella base del corpo di tromba destro, attraverso alla chiavetta giunge alla valvola *o* dell'altro corpo di tromba, come rappresentano le figure 106 e 107;

ma si trova interrotto dalla chiavetta medesima, quando quest'ultima è nella sua prima posizione, come mostrano le figure 104 e 105.

Ciò posto, lo stantuffo destro, nell'innalzarsi, aspira l'aria del recipiente; ma, quando discende, l'aria aspirata è respinta nel corpo di tromba sinistro a traverso dell'orifizio *a*, del canale *ci* e della valvola *o* (fig. 106), la quale trovasi allora aperta. Successivamente, allorchè il medesimo stantuffo si innalza, lo stantuffo sinistro si abbassa; ma l'aria che trovasi al di sotto di esso non ritorna nel corpo di tromba destro, essendo allora chiusa la valvola *o*. Lo stantuffo destro continua per tal maniera ad aspirare l'aria del recipiente ed a respingerla nel corpo di tromba sinistro; l'aria vi si condensa e giunge ad acquistare la tensione che basta per sollevare la valvola dello stantuffo Q, ciocchè era impossibile prima che fosse girata la chiavetta, poichè le si fa percorrere un quarto di giro sol quando le valvole, negli stantuffi, cessano di aprirsi.

168. **Usi della macchina pneumatica.** — Abbiamo già fatto conoscere molti esperimenti che si eseguiscono col mezzo della macchina pneumatica. Tali sono quelli della pioggia di mercurio (15), della caduta dei corpi nel vuoto (52), della vescica nel vuoto (126), del crepa-vescica (132), degli emisferi di Magdeburgo (132) e del baroscopio (160).

La macchina pneumatica serve anche a dimostrare che l'aria, in virtù dell'ossigeno che contiene, è necessaria alla combustione ed alla vita. Di fatti, se si colloca un corpo acceso, per esempio una candela sotto il recipiente, si vede che la fiamma impallidisce a misura che si estrae l'aria e quindi si spegne. Parimenti, un animale è colpito da asfissia e muore se, dopo di averlo collocato sotto il recipiente, si rarefa l'aria. I mammiferi e gli uccelli nel vuoto periscono prontamente; i pesci ed i rettili sopportano per uno spazio di tempo molto più lungo la privazione dell'aria. Gli insetti possono vivere nel vuoto pneumatico per alcuni giorni.

Nel vuoto le sostanze fermentabili, essendo sottratte al contatto dell'ossigeno, il quale è necessario alla fermentazione, si conservano senza alterazione per lunghissimo tempo. Diversi alimenti conservati entro scatole ermeticamente chiuse, in cui erasi fatto il vuoto, si trovarono, dopo parecchi anni, nello stesso stato in cui erano quando vi si introdussero.

Anche la *fontana nel vuoto*, rappresentata dalla figura 108, serve ad un esperimento che si fa colla macchina pneumatica e che vale a dimostrare la forza espansiva dell'aria. È una bottiglia contenente dell'acqua e dell'aria. Il collo è chiuso da un turacciolo, a traverso del quale passa un tubo che si immerge nel liquido. Collocando questa bottiglia sotto il recipiente, appena che si rarefi l'aria del medesimo, si vede l'acqua zampillare alla sommità del tubo; il che è dovuto alla forza elastica dell'aria contenuta nella bottiglia.

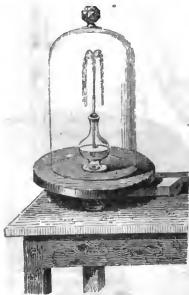



Fig. 108. *Fig* 109.

Finalmente, la figura 109 rappresenta un esperimento che dimostra la pressione atmosferica sul corpo umano. Si pone sul piatto della macchina un largo tubo di vetro, aperto alle due estremità, indi si appoggia il palmo della mano sui lembi dell'apertura superiore, mentre un' altra persona fa il vuoto. Siccome allora la pressione atmosferica non si fa più equilibrio sulle due superficie della mano, questa trovasi fortemente compressa contro il lembo del tubo e non può essere ritirata che a stento. Oltre ciò, non essendo più contrabbilanciata dal peso dell'atmosfera l'elasticità dei fluidi contenuti nei tessuti della mano, il palmo si gonfia ed il sangue tende ad uscire dai pori.

169. Macchina pneumatica a doppio effetto di Bianchi. — Bianchi, fabbricatore di macchine a Parigi, già da qualche anno adottò un sistema di macchina

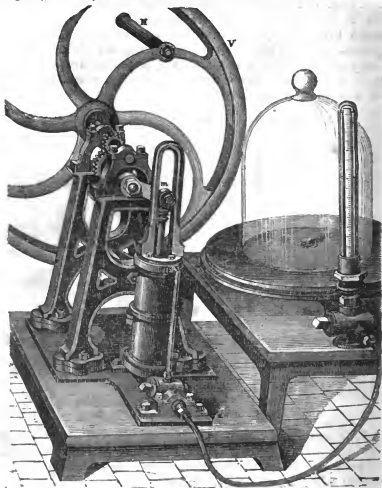



Fig. 110.

pneumatica, che presenta parecchi vantaggi. Questa macchina, che è tutta di ghisa, ha un solo cilindro il quale oscilla su di un asse orizzontale fisso alla sua base, come mostra la figura 110. Su di un piedestallo di ghisa è piantato un albero verticale con un volante pesantissimo V, che si fa rotare per mezzo di un manubrio M. A

questo stesso albero è fissato un manubrio *m*, che si articola colla testa dell'asta dello stantuffo. Per ciò, ad ogni rotazione completa del volante lo stantuffo fa due oscillazioni lungo il proprio asse.

La macchina è a doppio effetto, vale a dire che lo stantuffo PP (fig. 111) fa il vuoto e mentre ascende e mentre discende. Per ciò porta una valvola *b* che si apre dal basso all'alto, come nella macchina ordinaria; ma inoltre l'asta AA è cava ed ha nel suo interno un tubo X di rame destinato a dare uscita all'aria che esce dalla valvola *b*. Alla sommità del cilindro avvi una seconda valvola *a*, che si apre parimenti dal basso all'alto. Finalmente, un' asta di ferro D attraversa a strofinamento dolce lo stantuffo, e termina alle sue estremità con due valvole coniche *s* ed *s*. Queste ultime servono alla aspirazione lungo il tubo BC che va al recipiente in cui si fa il vuoto, mentre le valvole *a* e *b* servono alla uscita dell'aria.

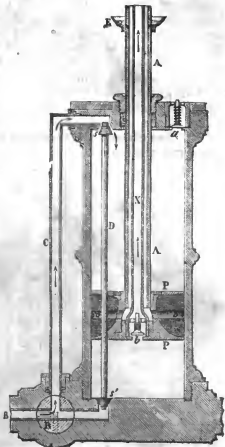



Fig 111.

Conosciuti questi particolari, supponiamo che lo stantuffo discenda. La valvola *s'* è allora chiusa e, essendo aperta la valvola *s*, l'aria del recipiente passa al di sopra del cilindro, mentre al di sotto l' aria compressa da questo solleva la valvola *b* e si sviluppa dal tubo X, il quale comunica coll'atmosfera. Quando lo stantuffo risale, l' aspirazione si fa per *s'*, e, essendo chiusa la valvola *s*, l' aria compressa si sviluppa dalla valvola *a*.

La macchina è fornita di una chiavetta a doppio canale R, simile a quella già descritta (167), ed è conservata unta con un mezzo ingegnosissimo. Per ciò, un recipiente E fissato all'asta è pieno d'olio, che cade nello spazio annulare compreso fra l'asta AA ed il tubo X, d'onde poi passa in un tubetto *oo* scavato nel massiccio dello stantuffo, e, respinto dalla pressione atmosferica, si distribuisce continuamente sulla periferia dello stantuffo. Nella macchina sarebbero ancora da notare parecchi ed importanti particolari di costruzione, che ora non possiamo descrivere. Ci limitiamo ad osservare che, essendo tutta di ghisa, può avere dimensioni molto maggiori della ordinaria macchina a due stantuffi, e fare il vuoto in molto minor tratto di tempo in apparati molto più grandi.

170. **Macchina di compressione**. — Questa macchina rappresentata della figura 112 serve a comprimere

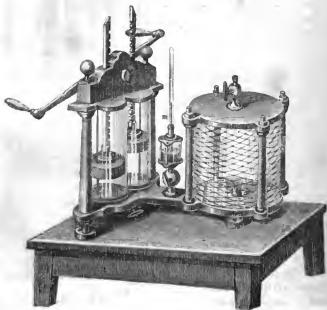



Fig. 112.

l'aria o qualsiasi altro gas. Essa ha uno stretto rapporto colla macchina pneumatica, dalla quale non differisce che pel modo d'agire delle valvole. Difatti, come la macchina pneumatica, risulta di due corpi di tromba e di un recipiente. Questo poi è fortemente fissato al piatto, essen-

dochè la forza elastica del gas, che vi si comprime, tende a sollevarlo. Per ciò è formato di un cilindro di vetro cogli orli ben levigati. Da una parte esso si appoggia sul piatto A, dall'altra è chiuso con un secondo piatto di cristallo B (fig. 113) in cui sono praticati quattro fori, nei quali passano quattro chiavarde di ferro D fissate nel piatto. Per mezzo di queste chiavarde e di madreviti E si comprime la lastra B sul cilindro. Finalmente, per prevenire gli accidenti che potrebbero accadere qualora il cilindro scoppiasse in conseguenza della tensione del gas compresso, lo si circonda con una rete di filo di ferro. La tensione dell'aria nel recipiente si misura per mezzo di

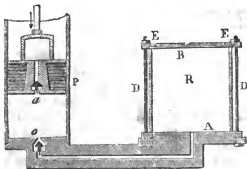



Fig. 113.

un piccolo manometro ad aria compressa, *m*, posto sul condotto che unisce il corpo di tromba al recipiente.

L'ufficio delle valvole si vede nella figura 113, la quale rappresenta una sezione dei corpi di tromba e del recipiente. Esse si aprono dell'alto al basso, mentre nella macchina pneumatica si aprono dal basso all'alto. Queste valvole, una delle quali è rappresentata in *a* alla base dello stantuffo e l'altra in *o* alla base del corpo di tromba (fig. 110), hanno una forma conica e sono tenute chiuse da piccole molle a spirale. Quando si innalza lo stantuffo P, l'aria si rarefa al di sotto; la valvola *o* è tenuta chiusa dalla molla a spirale, e la valvola *a* si apre per effetto della pressione atmosferica, e perciò l'aria esterna può entrare nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo discende, l'aria che trovasi al di sotto di esso si comprime; la valvola *a* si chiude, mentre la valvola *o* si apre e lascia passare nel recipiente R l'aria compressa. Per tal maniera, ad ogni colpo di stantuffo, la massa di aria con-

tenuta nel corpo di tromba penetra nel recipiente. Nondimeno avvi un limite alla tensione che può assumere il gas compresso; difatti, non potendo evitare uno spazio nocivo tra le valvole e la base dello stantuffo, giunge un istante in cui l'aria che rimane nel corpo di tromba non acquista più, anche quando lo stantuffo è alla fine della sua corsa, una forza elastica superiore a quella dell'aria contenuta nel recipiente, ed allora, cessando la valvola *o* di aprirsi, non passa più aria in quest'ultimo.

La macchina di compressione, che abbiamo ora descritta, ha poche applicazioni. Invece, sotto la forma seguente, questa macchina è frequentemente usata.

171. **Tromba di compressione.** — La *tromba di compressione*, la quale è una vera tromba premente, si compone unicamente di un corpo di tromba A di piccolo diametro (fig. **115**), nel quale si fa muovere colla mano, per mezzo di una impugnatura, uno stantuffo massiccio, cioè senza valvole. Il corpo di tromba finisce con una vite, per mezzo della quale può essere fissato sul vase K in cui si tratta di comprimere dell'aria o qualsiasi altro gas. La figura 114 mostra la disposizione delle valvole, le quali sono costrutte in modo che quella laterale *o* si apre dal di fuori al di dentro, e quella inferiore *s* si apre dall'interno all'esterno. Sopra queste valvole si appoggiano delle piccole molle a spirale, le quali servono a mantenerle chiuse. Le valvole agiscono come quelle della macchina di compressione.

Nella tromba di compressione, come nella macchina precedente, il limite della compressione dipende dal rapporto che esiste fra i due volumi d'aria compresi sotto lo stantuffo quand'esso si trova al principio ed alla fine della sua corsa. Se, per esempio, il secondo volume è $^1/_{60}$ del primo, non si potrà comprimere l'aria che a 60 atmosfere; perchè, oltre questo limite, la tensione nel recipiente K sarebbe maggiore che nel corpo di tromba, ed allora la valvola inferiore di quest'ultimo non potrebbe aprirsi per dar passaggio ad una nuova quantità di aria.

Quest'apparato serve specialmente a far assorbire i gas dall'acqua. Per ciò si fa comunicare il condotto B, per mezzo di un tubo D, con un serbatoio pieno del gas che si vuol far sciogliere, per esempio, di gas acido carbonico. La tromba aspira questo gas e lo respinge nel vase K ove si scioglie in quantità tanto maggiore quanto più è compresso (118, 1.^{a}). Le acque gasose sono fabbricate con apparati simili a questo.

172. **Fontana di Erone.** — La *fontana di Erone* è così chiamata dal nome del suo inventore, il quale viveva in Alessandria 120 anni innanzi l'era volgare. Essa è composta di una vaschetta di ottone D (fig. 116) e di due palloni di vetro M ed N di 2 a 3 decimetri di diametro. La vaschetta comunica colla parte inferiore del pallone N, per mezzo di un lungo tubo B di ottone. Un secondo tubo A fa comunicare fra loro i due palloni. Finalmente, un terzo tubo più piccolo passa a traverso della vaschetta e scende sino alla parte inferiore del pallone M. Si leva il

Fig. 114.

Fig. 115 $(a = 62)$.

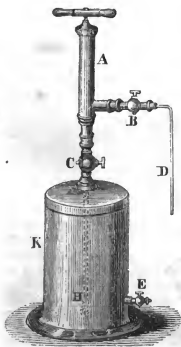



Fig. 116 $(a = 1^m,7)$.

terzo tubo onde riempire per metà d'acqua questo stesso pallone; indi si rimette in posto il tubo e si versa dell'acqua nella vaschetta. Il liquido, per mezzo del tubo B, discende nel pallone inferiore e ne scaccia l'aria che viene respinta nel pallone superiore. In quest' ultimo l'aria com-

pressa reagisce sull'acqua e la fa zampillare, come mostra la figura. Ove non fossero la resistenza dell'aria e l'attrito, il getto si innalzerebbe, al di sopra della vaschetta, ad una altezza eguale alla differenza di livello del liquido nella vaschetta e nel pallone inferiore.

Il principio della fontana di Erone ha trovato una applicazione nelle lampade idrostatiche di Girard.

Gli apparati che abbiamo fino ad ora descritti sono fondati sulla forza elastica dell'aria: i seguenti sono fondati e sopra questa forza e sulla pressione atmosferica.

173. **Fontana intermittente.** — La *fontana intermittente* risulta di un globo di vetro C (fig. **117**) esattamente chiuso da un turacciolo smerigliato e fornito

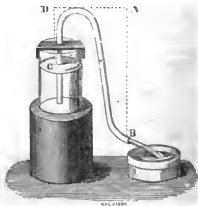



Fig. 117 ($a = 38$). *Fig.* 118 ($a = 40$).

di due o tre tubi capillari D, pei quali avviene l'efflusso. Un tubo A di cristallo penetra con una delle sue estremità, che sono aperte, nel globo C, e coll'altra finisce in vicinanza di un orifizio praticato al centro di una vaschetta di ottone B che sostiene tutto l'apparato.

Trovandosi il globo pieno d'acqua sino a circa due terzi, il liquido effluisce dapprima dagli orifizii D, come mostra la figura, per ciò che, in D, la pressione interna è eguale a quella dell'atmosfera che si trasmette per la parte inferiore del tubo A, più il peso della colonna di acqua CD; mentre esteriormente agisce soltanto la pressione dell'atmosfera. Queste condizioni persistono fintanto che l'orifizio inferiore del tubo A è aperto, cioè fintanto che la tensione dell'aria interna è eguale alla pressione dell'atmosfera; perchè l'aria rientra a misura che effluisce l'acqua. Ma siccome l'apparecchio è costrutto in modo che l'orifizio praticato al fondo della vaschetta B lascia effluire una quantità d'acqua minore di quella che forniscono gli orifizii D, così il livello si innalza a poco a poco nella vaschetta ed il tubo finisce col restare immerso interamente nel liquido. Siccome allora l'aria esterna non può penetrare nel globo C, l'aria in esso contenuta si rarefa a misura che continua l'efflusso e giunge un istante in cui la pressione dovuta alla colonna d'acqua CD ed alla tensione dell'aria capita nell'apparecchio è eguale alla pressione esteriore che si esercita in D; per conseguenza cessa l'efflusso. Ora, siccome dalla vaschetta l'acqua effluisce continuamente, l'estremità del tubo A trovasi ben presto libera. Allora l'aria entra nuovamente nell'apparato, l'efflusso ricomincia e così di seguito fintanto che resta acqua nel globo di vetro.

174. **Sifone.** — Il *sifone* è un tubo ricurvo, a rami di lunghezze differenti, che serve a travasare i liquidi; il ramo più corto trovasi immerso nel liquido che si vuol travasare (fig. 118).

Per adoperare questo strumento, è necessario prima *caricarlo* ossia riempirlo di liquido. Per ciò bisogna capovolgerlo, riempirlo direttamente, indi, chiudendo momentaneamente i suoi orifizii, collocarlo come mostra la figura; oppure immergere il ramo più corto nel liquido ed aspirare colla bocca, applicata all'orifizio B, l'aria che trovasi nell'apparato. Producendo così il vuoto in quest'ultimo, il liquido del vase G è spinto nel tubo dalla pressione atmosferica e lo riempie.

Quando il liquido che si vuol travasare non è di tal natura da poter essere introdotto in bocca senza inconveniente, si adopera un sifone sul quale è saldato un secondo tubo M (fig. 119) parallelo al ramo più lungo. Allora si aspira l'aria per l'orifizio O di questo tubo

addizionale, usando l'avvertenza di chiudere contemporaneamente l'orifizio P e di non permettere che il liquido si innalzi nel tubo addizionale sino alla bocca. Qualunque sia la maniera colla quale il sifone è stato riempito, l'efflusso continua dal ramo più breve verso l'altro fintanto che il primo pesca nel liquido.

Per intendere come avvenga quest'efflusso, bisogna considerare che la forza la quale gravita sul liquido C

Fig. 119.

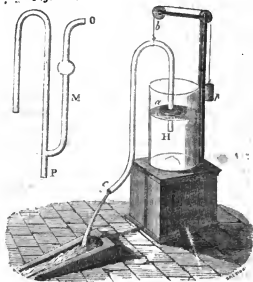



Fig. 120. ($a = 55$).

(fig. 118) e lo sollecita ad innalzarsi nella direzione CDB, è eguale alla pressione atmosferica, meno il peso di una colonna d'acqua la cui altezza è DC. Parimenti, in B la forza che sollecita il liquido nella direzione BDC è il peso dell'atmosfera, meno quello di una colonna d'acqua avente per altezza AB. Ora, siccome quest'ultima colonna è maggiore di DC, ne risulta che la forza effettiva che agisce in B è più piccola di quella che agisce in C. Ma l'efflusso accade in virtù della differenza di queste due forze; per conseguenza, la velocità di efflusso sarà tanto maggiore quanto più considerabile è la differenza di livello fra l'orifizio B e la superficie del liquido nel vase C.

Dalla teoria del sifone si conchiude che quest'apparato sarebbe inoperoso nel vuoto od anche quando l'altezza CD

fosse maggiore della colonna liquida che fa equilibrio alla pressione atmosferica.

175. **Sifone ad efflusso costante.** — Dietro quanto precede, perchè l'efflusso nel sifone sia costante bisogna che la differenza fra le altezze del liquido dei due rami sia sempre la stessa. Si ottiene questo risultato disponendo l'apparecchio come mostra la figura 120. Il sifone è tenuto in equilibrio da un galleggiante *a* e da un peso *p*, in modo che discenda proporzionalmente al progressivo abbassarsi di livello nel vase H, onde rimane invariabile la differenza fra le altezze *ab* e *bc*.

176. **Sifone intermittente.** — Il *sifone intermittente*, come indica il suo nome, è quello nel quale l'efflusso non è continuo. Questo sifone è disposto in un vase in modo che il ramo più breve si apra vicino al fondo, mentre il più lungo passa a traverso del fondo e si apre al di fuori (fig. 121). Siccome il vase viene alimentato da una sorgente costante di acqua, così il livello a poco a poco si innalza nel medesimo e in pari tempo nel ramo più corto fino alla sommità del sifone. Quest'ultimo allora si carica per effetto della pressione del liquido ed avviene l'efflusso, come mostra la figura 121. Ora, siccome si fa in modo che l'efflusso del sifone sia più abbondante di quello del tubo che alimenta il vase, il livello in questo ultimo si abbassa e l'estremità del ramo più corto cessa bentosto di essere immersa nel liquido; allora il sifone si svuota e l'efflusso è interrotto. Ma, continuando il vase ad essere alimentato dalla sorgente costante, il livello si innalza di nuovo e si produce periodicamente la medesima serie di fenomeni.

Fig. 121.

Negli stabilimenti destinati alla distribuzione delle acque a traverso dei diversi quartieri di una città, si ricorre bene spesso ad efflussi intermittenti per aprire o chiudere, ad ore determinate, le chiavette dei condotti. A tale effetto, alcuni vasi alimentati da un filo costante di acqua si vuotano ad intervalli, e, diventando ora più pesanti ed ora più leggieri, agiscono, per mezzo di contrappesi, ora in un verso ed ora in un altro, sulle chiavette.

La teoria del sifone intermittente fornisce la spiegazione

delle fontane intermittenti naturali che si trovano in varii paesi. Vi sono delle fontane le quali forniscono dell'acqua durante parecchi giorni o parecchi mesi, indi rimangono asciutte per uno spazio di tempo più o meno lungo, e successivamente incominciano di nuovo ad effluire; altre cessano dal fornir acqua e la riversano parecchie volte in un'ora.

Si spiegano questi fenomeni, ammettendo l'esistenza di cavità sotterranee, le quali, per mezzo di sorgenti, si riempiano più o meno lentamente di acqua e si svuotino poscia mediante fessure disposte nel suolo in modo da imitare i sifoni intermittenti.

177. **Differenti specie di trombe.** — Le *trombe* sono macchine che servono ad innalzar l'acqua per aspirazione, per pressione o per ambedue questi effetti combinati; onde si dividono in *trombe aspiranti, trombe prementi* e *trombe aspiranti e prementi*. Prima di Galileo si attribuiva l'innalzamento dell'acqua nelle trombe aspiranti all'*orrore della natura pel vuoto*; mentre questo fenomeno non è che un effetto della pressione atmosferica.

Fig. 122 ($a = 75$).

178. **Tromba aspirante.** — La figura 122 rappresenta un modello di tromba aspirante destinato per le dimostrazioni, ma disposto come le trombe che si usano nell'industria. Questa tromba è composta: 1.° di *un corpo di tromba* cilindrico B, alla base del quale avvi una valvola S che si apre dal basso all'alto; 2.° d'un *tubo d'aspirazione* A, il quale pesca nel serbatoio d'onde si vuol innalzar l'acqua; 3.° d'uno *stantuffo* che si solleva e si abbassa nel corpo di tromba per mezzo di un'asta, e nel

quale è praticato un canaletto il cui orifizio superiore è coperto da una valvola O, che si apre parimenti dal basso all'alto. Una manovella P serve a mettere in movimento l'asta e lo stantuffo.

Quando lo stantuffo, che trovavasi dapprima alla estremità inferiore della sua corsa, si innalza, tende a prodursi il vuoto al di sotto del medesimo e la valvola O rimane chiusa per effetto della pressione atmosferica; mentre l'aria del tubo di aspirazione, in virtù della sua elasticità, solleva la valvola S e passa in parte nel corpo di tromba. Essendo in tal maniera rarefatta l'aria del tubo A, l'acqua ascende in questo tubo fintanto che la pressione della colonna liquida sollevata, aggiunta alla tensione dell'aria rarefatta rimasta nel tubo, faccia equilibrio alla pressione atmosferica che si esercita sull'acqua del serbatoio.

Quando lo stantuffo discende, la valvola S si chiude pel suo proprio peso ed impedisce il rientrare dell'aria dal corpo di tromba nel tubo di aspirazione. Allora l'aria compressa dallo stantuffo fa aprire la valvola O e sfugge nell'atmosfera pel tubo C, che trovasi al di sopra del corpo di tromba e che distinguesi col nome di *tubo di ascesa.* Ad un secondo colpo di stantuffo si riproduce la medesima serie di fenomeni, e dopo alcuni altri colpi l'acqua penetra finalmente nel corpo di tromba. Allora si producono nuovi effetti. Durante la discesa dello stantuffo, la valvola S si chiude, l'acqua compressa solleva la valvola O e sale al di sopra dello stantuffo, il quale, nell'ascendere, la solleva in seguito sino al serbatoio superiore D. Allora non avvi più aria nel corpo di tromba, e l'acqua, spinta dalla pressione atmosferica, ascende collo stantuffo; tranne il caso che alla estremità superiore della sua corsa quest'ultimo non sia ad una altezza maggiore di 10m,3 al di sopra del livello dell'acqua nel serbatoio in cui pesca il tubo di aspirazione A, perchè si è veduto (135) che la pressione atmosferica equilibra una colonna d'acqua dell'altezza di 10m,3.

Per conoscere l'altezza che si può dare al tubo di aspirazione A, bisogna notare che in pratica lo stantuffo non combacia mai esattamente colla base del corpo di tromba, e che, quando esso si trova alla estremità inferiore della sua corsa, esiste ancora al di sotto uno *spazio nocivo,* pieno d'aria avente una tensione eguale a quella dell'atmosfera. Si supponga che questo spazio nocivo sia eguale ad $^1/_{30}$ della capacità del corpo di tromba. L'aria, che trovasi in

questo spazio, si dilata a misura che lo stantuffo si innalza e, quando quest'ultimo è giunto alla estremità superiore della sua corsa, la tensione dell'aria che rimane nel corpo di tromba, dietro la legge di Mariotte, è $^1/_{30}$ della pressione atmosferica. Per ciò l'aria del tubo di aspirazione non può essere rarefatta oltre questo limite, e quindi l'acqua, nel caso che consideriamo, non può elevarsi in questo tubo che ad una altezza eguale ai $^{29}/_{30}$ di $10^m,3$, cioè a $9^m,9$. Il tubo di aspirazione però non può giungere nemmeno a quest'altezza, perchè l'acqua deve elevarsi alquanto al di sopra della valvola S. Perciò, comunemente, non si dà al tubo di aspirazione una lunghezza maggiore di 8 metri.

Insomma, l'acqua nella tromba aspirante è innalzata dapprima nel tubo di aspirazione in virtù della pressione atmosferica, e ad un altezza che non potrebbe essere maggiore di 8 o 9 metri. Ma, giunta alla parte inferiore del corpo di tromba, essa è innalzata direttamente dallo stantuffo, e l'altezza a cui può in tal maniera arrivare dipende unicamente dalla forza che fa muovere quest'ultimo.

179. **Tromba aspirante e premente.** — La *tromba aspirante e premente* innalza l'acqua e per aspirazione e per pressione. Differisce poco da quella che abbiamo descritta; solchè il suo stantuffo è massiccio. Alla base del corpo di tromba, sull'orifizio del tubo di aspirazione, avvi, come nella tromba precedente, una valvola S (fig. 123) la quale si apre dal basso all'alto. Un'altra valvola O, che si apre nel medesimo verso, chiude l'apertura di un tubo piegato a gomito J, il quale parte dalla base del corpo di tromba e finisce in un vase M, che si chiama *serbatoio dell'aria*. Finalmente, da questo vase parte un tubo di ascesa D destinato ad elevar l'acqua ad una altezza più o meno grande.

Ad ogni ascesa dello stantuffo B, l'acqua si innalza nel tubo di aspirazione A e penetra nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo si abbassa, la valvola S si chiude e l'acqua compressa solleva la valvola O per passare nel serbatoio M e da questo nel tubo di ascesa D, nel quale l'altezza cui può giungere è limitata soltanto dalla grandezza della forza del motore che fa agire la tromba.

Se il tubo D fosse un prolungamento del tubo di comunicazione J, l'efflusso sarebbe intermittente; perchè si effettuerebbe soltanto durante il tempo in cui lo stantuffo discende, e cesserebbe mentre esso risale. Ma avvi solu-

zione di continuità fra questi due tubi, onde, per mezzo dell'aria contenuta nel serbatoio M, si ottiene un efflusso continuo. Di fatti, l'acqua spinta nel serbatojo M si divide in due parti; una si innalza nel tubo D e comprime l'acqua che trovasi nel serbatojo, mentre l'altra, in virtù di questa pressione innalzandosi al di sopra dell'orifizio

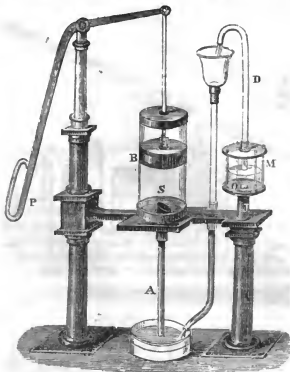



Fig. 123. (a = 75).

del tubo D, comprime l'aria che trovasi nel serbatojo. D'onde risulta che quando lo stantuffo si solleva e non agisce più per ispingere l'acqua, l'aria del serbatojo, per la compressione subìta, reagisce sul liquido e lo innalza nel tubo D fino a tanto che lo stantuffo discende di nuovo, di maniera che il getto si effettua senza intermittenza.

180. **Tromba premente.** — La *tromba premente* è indipendente dalla pressione atmosferica ed opera unicamente per pressione esercitata direttamente collo stantuffo. Questa tromba differisce dalla precedente soltanto per non avere tubo di aspirazione, trovandosi il suo corpo

di tromba immerso nell'acqua stessa che si vuole far inalzare. La continuità del getto si ottiene mediante un serbatojo d'aria simile a quello che abbiamo descritto; oppure mediante un sistema di due trombe accoppiate le quali agiscono alternativamente come quelle che si usano per ispegnere gli incendii (fig. 124). Le due trombe, mosse da

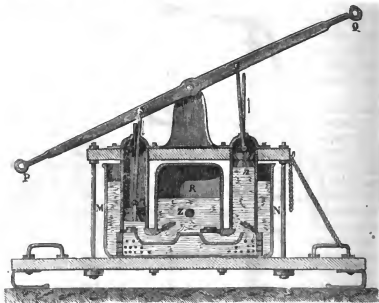



Fig. 124.

uno stesso bilanciere PQ al quale sono applicati otto uomini, si immerge in una vasca MN piena d'acqua per tutto il tempo in cui funziona l'apparato. Dalla disposizione delle valvole si desume che quando una delle trombe aspira l'acqua dalla vasca MN, l'altra la spinge in un serbatojo d'aria R, d'onde passa, traverso una apertura Z, in un lungo tubo di cuojo che si dirige sull'incendio.

181. Pressione sostenuta dallo stantuffo. — **Nella tromba aspirante (fig. 122), appena che il tubo d'aspirazione ed il corpo di tromba sono pieni d'acqua sino all'orifizio di efflusso,** *lo sforzo necessario per sollevare lo stantuffo è eguale al peso di una colonna d'acqua avente per base la base dello stantuffo e per altezza la distanza verticale dall'orifizio di efflusso al livello dell'acqua nel serbatojo d'onde questa viene attinta.* **Di fatti, si**

rappresenti con H l'altezza della colonna d'acqua che misura la pressione atmosferica, con h l'altezza dell'acqua che si trova al di sopra dello stantuffo, e con h' l'altezza della colonna d'acqua che riempie il tubo di aspirazione e la parte inferiore del corpo di tromba. La pressione, al di sopra dello stantuffo, è evidentemente $H + h$, e quella al di sotto di esso $H - h'$, poichè il peso della colonna h' tende a fare equilibrio alla pressione atmosferica. Ora, la pressione $H - h'$ tende a sollevare lo stantuffo; quindi la resistenza effettiva è eguale all'eccesso di $H + h$ sopra $H - h'$; cioè ad $h + h'$, ciò che bisognava dimostrare.

Nella tromba aspirante e premente (fig. 123) si vede di leggieri che la pressione sostenuta dallo stantuffo, mentre si abbassa, è eguale al peso di una colonna d'acqua che avesse per base la sezione dello stantuffo e per altezza la distanza dei medesimo dal livello a cui è innalzata l'acqua.

182. Bottiglia di Mariotte, suo uso. — La *bottiglia di Mariotte* è un apparato che offre parecchi effetti notabili di pressione atmosferica, e per mezzo del quale si ottiene un efflusso costante. È una bottiglia alquanto ampia, che ha il collo chiuso da un turacciolo (fig. 125) attraversato da un tubo di vetro aperto alle due estremità. Nella parete laterale della bottiglia si trovano tre tubulature a, b, c; gli orfizii di queste tubulature sono ristretti e chiusi da piccoli turacciolì di legno.

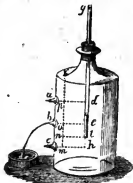



Fig. 125.

Si immagini che la bottiglia ed il tubo siano interamente pieni di acqua, e si consideri ciò che accade quando si apre successivamente una delle tubulature a,b,c, supponendo che l'estremità inferiore del tubo g arrivi, come mostra la figura, fra le due tubulature b e c.

1.° Se si apre dapprima l'orifizio b avviene efflusso, il livello si abbassa nel tubo g, e, appena che arrivi a corrispondere al punto e, l'efflusso si arresta. Questi fenomeni dipendono dalla prevalenza di pressione primitiva dall'interno all'esterno, la quale cessa quando il livello nel tubo g arriva in e. Di fatti, innanzi che incominciasse l'efflusso, la pressione non era la stessa su tutti i punti della sezione orizzontale be. In e essa si componeva della pressione atmosferica e del peso della colonna d'acqua ge, mentre in b la pressione è eguale soltanto a quella dell'atmosfera. Ma appena che il liquido siasi abbassato nel tubo sino al livello be, si stabilisce l'equilibrio, perchè nella bottiglia e nel tubo la pressione è la stessa su tutti i punti della sezione orizzontale be (80, 3.ª). In fatti, siccome in questo caso la pressione atmosferica agisce direttamente in b ed in e, così è facile dimostrare che si esercita la stessa pressione in un punto qualunque o della sezione be. Perciò rappresentiamo con H l'altezza della colonna d'acqua che misura la pressione dell'atmosfera; questa forza, agendo direttamente in b ed in e, giusta il principio di Pascal (79), si trasmette in tutti i versi nel-

l'interno della bottiglia, e la parete in k sostiene dal basso all'alto una pressione eguale ad $H - ko$; perchè il peso della colonna di acqua ko distrugge in parte la pressione che tende a trasmettersi verso k. Ora, dietro il principio di meccanica che la *reazione è sempre eguale e contraria all'azione*, la pressione $H - ko$ è rimandata dall'alto al basso dalla parete k sulla sezione bc; di maniera che la molecola o sostiene in realtà due pressioni, una eguale al peso della colonna di acqua ko, l'altra alla pressione $H - ko$ risultante dalla reazione della parete k. Quindi la pressione totale che sostiene la molecola o è $ko + H - ok$, ossia H, come bisognava dimostrare.

2.° Chiudasi l'orifizio b ed aprasi l'orifizio a; si osserva allora che l'efflusso non avviene, ma che rientra dell'aria nella bottiglia a traverso dell'orifizio a e che, elevandosi il liquido nel tubo g sino al livello ad, si stabilisce l'equilibrio. Di fatti, con un ragionamento simile al precedente si dimostrerebbe che la pressione è allora la stessa su tutti i punti della sezione orizzontale ad.

3.° Essendo chiusi gli orifizii a e b, si apra l' orifizio c. In questo caso avviene l'efflusso con una velocità costante, sintanto che il livello dell' acqua, nella bottiglia, non è disceso al di sotto dell'orifizio l del tubo; perchè l'aria rientra a bolla a bolla a traverso di quest'orifizio e va ad occupare la parte superiore della bottiglia, ove prende il posto dell' acqua che effluisce.

Per dimostrare che l'efflusso dall'orifizio c è costante, proveremo che la pressione la quale si esercita sulla sezione orizzontale ch è invariabilmente eguale alla pressione dell'atmosfera sommata con quella della colonna d'acqua hl. Di fatti, suppongasi che il livello dell'acqua nella bottiglia siasi abbassato fino in ad. L'aria entrata nella bottiglia sostiene allora una pressione eguale ad $H - pn$, e, per la sua elasticità, rimanda questa pressione allo strato ch. Ora, quest'ultimo sostiene anche il peso della colonna di acqua pm. Quindi la pressione trasmessa in m è in realtà $pm + H - pn$, o $H + mn$, cioè $H + hl$. Nella stessa maniera si dimostrerebbe che questa pressione è ancora la stessa quando il livello si è abbassato sino in eb, e così successivamente sintanto che il livello è più alto dell'orifizio l. Ma una volta che il livello sia disceso al di sotto di l, questa pressione decresce, e quindi diminuisce pure la velocità di efflusso.

Dietro quanto precede, si ottiene un efflusso costante colla bottiglia di Mariotte, riempiendola d'acqua e tenendo aperta la tubulatura situata al di sotto dell'orifizio l del tubo. Allora la velocità di efflusso è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza lh.

LIBRO V.

ACUSTICA

CAPITOLO I.

PRODUZIONE, PROPAGAZIONE E RIFLESSIONE DEL SUONO.

183. **Oggetto dell'acustica**. — L'*acustica* ha per oggetto lo studio del suono e delle vibrazioni dei corpi elastici.

La musica considera i suoni relativamente ai sentimenti ed alle passioni che essi possono eccitare in noi; l'acustica tratta soltanto delle proprietà dei suoni, fatta astrazione dalle sensazioni che noi ne proviamo.

184. **Suono e rumore**. — Il suono è una impressione particolare eccitata nell'organo dell'udito dal movimento vibratorio dei corpi, quando questo movimento può essere trasmesso all'orecchio da un mezzo interposto.

Tutti i suoni non sono indentici; essi presentano differenze abbastanza sensibili perchè sia possibile distinguerli fra loro, confrontarli e determinarne i rapporti.

In generale si fa distinzione fra *suono* e *rumore*. Il suono propriamente detto, o *suono musicale*, è quello che produce uua sensazione continua e di cui si può apprezzare il valore musicale; mentre il rumore è un suono di una durata troppo breve per poter essere ben valutato, come sarebbe il rumor del cannone; oppure è una mescolanza confusa di parecchi suoni discordanti, come il fragore del tuono, il rumore dei flutti. Tuttavia non si può precisamente definire la differenza fra suono e rumore; alcuni individui hanno orecchio così ben organizzato da poter determinare il valore musicale del rumore prodotto da una carrozza che corre sul lastrico.

185. **Causa del suono.** — Il suono è sempre il risultato di oscillazioni rapide impresse alle molecole dei corpi elastici, quando, sotto l'influenza di un urto o dello strofinamento, ne sia stato turbato l'equilibrio. Esse tendono allora a riprendere la primitiva posizione, ma non vi ritornano che eseguendo da una banda e dall'altra di questa posizione dei movimenti *vibratorii*, od alternativi, estremamente celeri e la cui ampiezza decresce assai rapidamente.

Chiamasi *corpo sonoro* quello che produce un suono, e *oscillazione* o *vibrazione semplice* il movimento che comprende soltanto una *andata* od un *ritorno* delle molecole vibranti; una *vibrazione doppia* o *intiera* comprende l'*andata* ed il *ritorno*. Le vibrazioni si possono facilmente riconoscere coi seguenti esperimenti (fig. 126); una pol-

Fig. 126. *Fig.* 127.

vere leggiera, sparsa su di un corpo che dà un suono, si muove rapidamente e rende così visibili le vibrazioni del corpo; se si pizzica una corda tesa ed alquanto lunga si producono delle vibrazioni che sono apparenti all'occhio; oppure si impugni con una mano una campana di vetro (fig. 126) coll'altra le si dia un colpo per farla vibrare. Ora un frammento di metallo o di altra sostanza, che sia

stato previamente introdotto nella campana, viene sollevato rapidamente dalle vibrazioni successive dalle pareti, sulle quali fa udire degli urti ripetuti; ma se si pone la mano sulla campana, e si arrestano così le vibrazioni, gli urti cessano all' istante,

186. **Il suono non si propaga nel vuoto.** — Le vibrazioni dei corpi elastici non possono produrre in noi la sensazione del suono, se non quando trovasi interposto fra l'orecchio ed il corpo sonoro un mezzo ponderabile e vibrante con esso. Questo mezzo è ordinariamente l'aria; ma anche gli altri gas, i vapori, i liquidi, i solidi trasmettono il suono.

Per dimostrare che la presenza di un mezzo ponderabile è necessaria alla propagazione del suono, si fa il seguente esperimento. Sotto il recipiente di una macchina pneumatica si pone un campanello metallico, colpito regolarmente da un piccolo martello mosso da un congegno di orologieria (fig. 127). Fintanto che la campana è piena d'aria alla pressione ordinaria, si sente distintamente risuonare il campanello: ma, a misura che si rarefa l'aria, il suono perde d' intensità, e cessa di essere percettibile quando è fatto il vuoto. Quindi il suono non si propaga nel vuoto.

Affinchè l' esperimento riesca bene, bisogna collocare l' apparato che produce il suono sopra della bambagia; altrimenti, dai pezzi metallici, di cui esso risulta, il suono può essere trasmesso al piatto della macchina pneumatica, e da questo all' aria.

Si può eseguire il medesimo esperimento in una maniera più semplice, per mezzo di un pallone di vetro munito di chiavetta e contenente un piccolo campanello sospeso ad una funicella. Agitando il pallone quando è pieno d'aria, si ode distintamente il suono del campanello; ma dopo di aver rarefatta, per mezzo della macchina pneumatica, l'aria contenuta nel pallone, non si ode più alcun suono.

187. **Il suono si propaga in tutti i corpi elastici.** — Se, nei due esperimenti ora descritti, dopo di aver fatto il vuoto si lascia rientrare nel recipiente o nel pallone un gas qualunque od un vapore, si sente benissimo il suono del campanello, il che dimostra che il suono si propaga nei gas e nei vapori come nell'aria.

Il suono si propaga pure nei liquidi. Di fatti, si può udire distintamente il rumore di due corpi che si urtino sott'acqua, ed una persona che si trovi al fondo dell'acqua può udire ciò che se dice sulla riva.

La conducibilità pei solidi è tale che un rumore estremamente debole, come lo strofinio di una barba di penna contro una estremità di un pezzo di legno, è udito all'altra estremità. Il suolo conduce così bene il suono che, di notte, applicando l'orecchio contro terra, si può udire, a grandi distanze, il rumore dei passi dei cavalli o qualsiasi altro rumore.

188. Modo di propagazione del suono nell'aria. — Per semplificare la teoria della propagazione del suono, consideriamo dapprima il caso in cui esso si effettuasse in un tubo cilindrico indefinito. Si immagini adunque un tubo MN (fig. 128) pieno d'aria a pressione ed a temperatura costanti, ed in questo tubo uno stantuffo P

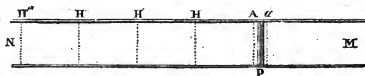



Fig. 128.

oscillante con grande celerità da a in A, ed inversamente. Questo stantuffo, quando passa da a ad A, comprime l'aria contenuta nel tubo. Ora, a motivo della grande compressibilità di questo fluido, la condensazione non si opera in tutta la lunghezza del tubo, ma soltanto in una parte, di una certa lunghezza AH, che si chiama *onda condensata.*

Tutte le parti di quest'onda non sono egualmente condensate, e la loro velocità non è la stessa, perchè lo stantuffo, nel suo movimento alternativo, assume velocità variabili. La velocità, sulle prime nulla in a, cresce progressivamente sino al mezzo della corsa, poi decresce fino in A dove è nuovamente nulla. Quindi risultano nell'aria costituente l'onda AH della densità e della velocità che variano colla velocità dello stantuffo. In A, ove lo stantuffo trovasi in quiete, l'aria ha una velocità nulla ed ha ripigliato la sua densità primitiva; in H, ove termina l'onda, la velocità e la densità hanno lo stesso valore che in A, ma nei punti intermedii queste quantità crescono da A fino alla sezione media dell'onda per decrescere poi di là sino ad H.

Immaginando il tubo MN diviso in parti di lunghezza eguale ad AH, e supponendo ciascuna di queste parti

suddivisa in falde parallele alla base dello stantuffo, si dimostra col calcolo che allorquando la prima falda dell'onda AH viene a porsi in quiete, la prima falda della parte HH' comincia a partecipare al movimento; indi, allorchè la seconda falda dell'onda AH si mette in quiete, il moto si comunica alla seconda falda di HH', e così successivamente di falda in falda il moto si propaga nelle parti H'H'', H''H'''... L'onda condensata progredisce adunque nel tubo in modo che ognuna delle parti di essa arriva successivamente alle stesse graduazioni di velocità e di condensazione.

Retrocedendo in seguito lo stantuffo nella direzione A*a*, si produce al di dietro di esso un vuoto in cui si espande la falda d'aria che è a contatto colla faccia posteriore dello stantuffo. Indi la falda successiva, dilatandosi alla sua volta, riconduce la prima allo stato di condensazione primitiva, e così poi di falda in falda, di maniera che, allorquando lo stantuffo ritornò in *a*, si è prodotto un'*onda rarefatta* di lunghezza eguale a quella dell'onda condensata e disposta immediatamente in seguito a questa entro il tubo cilindrico dove queste due onde si propagano insieme: le falde corrispondenti delle due onde sono animate da velocità eguali e contrarie.

L'onda condensata e la dilatata, prese insieme, costituiscono una *ondulazione*; che è quanto dire che un'ondulazione abbraccia la parte della colonna d'aria modificata durante un avanzamento ed una retrocessione dello stantuffo. La *lunghezza dell'ondulazione* è la grossezza dell'onda condensata e dell'onda dilatata riunite, cioè lo spazio che il suono percorre durante una intiera vibrazione del corpo che lo produce. Questa lunghezza è tanto minore quanto più rapide sono le vibrazioni.

Dalla teoria del movimento delle onde sonore in un cilindro si passa facilmente a quella del loro movimento in un mezzo esteso indefinitamente in tutti i versi. A questo intento basta applicare ad ogni molecola dei corpi vibranti le considerazioni fatte per uno stantuffo mobile entro di un tubo. È infatti evidente che intorno ad ogni centro di scuotimento si produce una serie d'onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte. Siccome queste onde sono comprese tra due superficie sferiche concentriche i cui raggi vanno continuamente crescendo, mentre la lunghezza dell'ondulazione rimane costante, così la massa posta in moto aumenta di mano in mano che le

onde si allontanano dal centro di scuotimento; epperò la velocità impressa alle molecole s'indebolisce gradatamente, e l'intensità del suono decresce.

Sono appunto queste onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte che, propagandosi nello spazio, vi trasmettono il suono. Allorchè contemporaneamente sono scossi parecchi punti, nasce intorno ad ognuno di essi un sistema di onde analogo al precedente. Tutte queste onde si trasmettono le une attraverso alle altre senza che perciò venga a modificarsi nè la loro lunghezza, nè la loro velocità. Le onde condensate ora si sovroppongono ad onde della stessa natura in modo di produrre un effetto eguale alla loro somma, ora s'incontrano con onde dilatate e producono un effetto eguale alla loro differenza. Per render visibile la *coesistenza delle onde* basta scuotere in parecchi punti la superficie di un'acqua tranquilla.

189. **Cause che fanno variare l'intensità del suono.** — Parecchie cause modificano la forza, ossia *intensità* del suono, e sono: la distanza del corpo sonoro, l'ampiezza delle sue vibrazioni, la densità dell'aria nel luogo in cui si produce il suono, la direzione delle correnti aeree e, finalmente, la vicinanza d'altri corpi sonori.

1.° *L'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza del corpo sonoro dall'organo dell'udito.* Questa legge, che si dimostra col calcolo, è una conseguenza del modo di propagazione delle onde sonore. Infatti, siccome la velocità delle vibrazioni dell'aria in ogni onda sferica è in ragione inversa del quadrato del raggio della sfera, cioè del quadrato della distanza dal centro di scuotimento, altrettanto avviene necessariamente dell'intensità del suono.

2.° *L'intensità del suono aumenta al crescere dell'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro,* e, per conseguenza, al crescere della velocità di oscillazione delle onde. Questo legame, che sussiste tra l'intensità del suono e l'ampiezza delle vibrazioni, si riconosce facilmente col mezzo di corde vibranti; di fatti, si verifica che il suono s'affievolisce di mano in mano che decresce l'ampiezza delle oscillazioni.

3.° *L'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria nel luogo in cui esso si produce.* Collocando sotto il recipiente della macchina pneumatica una sveglia mossa da un congegno d'orologeria, di mano in mano che si rarefà l'aria, si sente decrescere l'intensità del suono.

Nel gas idrogeno, che è circa 14 volte meno denso dell'aria, a pressione eguale, i suoni hanno un'intensità molto minore che nell'aria. Al contrario nel gas acido carbonico, la cui densità, rispetto all'aria, è 1,52, i suoni sono più intensi. Sulle alte montagne, dove l'aria è assai rarefatta, bisogna alzare la voce per farsi udire, e l'esplosione di un'arma da fuoco vi produce un rumore poco intenso.

4.° *L'intensità del suono è modificata dall'agitazione dell'aria e dalla direzione dei venti.* Si riconosce, che a tempo tranquillo, il suono propagasi sempre meglio che quando spira vento, e che in questo ultimo caso il suono si propaga con maggiore intensità, a parità di distanza, nella direzione del vento, che non in direzione contraria.

5.° *Finalmente, il suono è rinforzato dalla vicinanza di di un corpo sonoro.* Una corda da strumento tesa all'aria libera, e fatta vibrare lungi da qualsiasi corpo sonoro, produce uu suono debole, mentre tesa sopra una cassa sonora, come si fa nella chitarra, nel violino, nel contrabasso, dà un suono pieno ed intenso, il quale effetto è dovuto alla cassa ed all'aria in essa contenuta che vibrano ambedue all'unissono colla corda. Di qui l'uso delle casse sonore negli strumenti a corda.

190. **Apparato per rinforzare il suono.** — Per dimostrare l'influenza delle casse piene d'aria sul rinforzo del suono, Savart costrusse l'apparecchio rappresentato dalla figura 129. Consiste quest'apparecchio in un vase emisferico A di bronzo, che si fa vibrare col mezzo di un robusto archetto, e presso al quale è collocato un cilindro cavo B di cartone aperto all'estremità anteriore e chiuso all'altra. Per mezzo di una impugnatura si può far ruotare come si vuole questo cilindro sul suo sostegno, il quale è fissato sopra un pezzo C che scorre liberamente entro la base dell'apparecchio, così che si può allontanare ad arbitrio il cilindro B dal vase A. Disposto l'apparecchio come lo dimosra la figura, e facendo vibrare il vase, i suoni assumono tal forza e pienezza che non ponno idearsi se non udendoli. Ma, facendo ruotare il cilindro, il suono ad un tratto perde molto della sua intensità; allontanandolo, il suono si indebolisce gradatamente. Onde emerge che il rinforzo del suono è dovuto alle vibrazioni dell'aria contenuta nel cilindro. In questo apparato il cilindro B deve avere una profondità determinata, affinchè l'aria in esso contenuta vibri all'unissono col vase di bronzo; altrimenti questo vibrerebbe da solo.

Vitruvio ci riferisce che anticamente si collocavano sui teatri dei vasi risuonanti destinati a rinforzare la voce degli attori.

Fig. 129.

191. **Influenza dei tubi sull' intensità del suono**. — La legge testè enunciata, che l'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza, non può applicarsi ai suoni trasmessi pei tubi, principalmente se questi sono cilindrici e diritti. In tal caso, non propagandosi più le onde sonore sotto la forma di sfere concentriche di raggi crescenti, il suono può essere recato a grande distanza senza notabile alterazione. Biot riconobbe che in un tubo destinato a condurre le acque a Parigi, lungo 951 metri, la voce perde così poco della sua intensità, che da un capo all' altro del tubo si può conversare a bassa voce. L'indebolimento del suono però diventa sensibile nei tubi di grande diametro o di pareti tortuose. Questo fatto si riscontra nei sotterranei e nelle lunghe gallerie.

La proprietà che hanno i tubi di portare a distanza i suoni fu già utilizzata in Inghilterra, ove si disposero dei *speaking-tube* (tubi parlanti) per trasmettere gli ordini negli alberghi o nei grandi stabilimenti. Questi tubi sono di gomma elastica, di piccolo diametro e passano da un locale all' altro attraverso i muri. Una persona che parli

a bassa voce ad uno dei capi è udita assai distintamente all' altro.

Dalle esperienze già citate di Biot risulta che si potrebbe col mezzo di tubi acustici mettere in corrispondenza vocale due città. E siccome il suono percorre in termine medio 337 metri per secondo, una distanza di 20 leghe di 4000 metri ciascuna sarebbe percorsa in 4 minuti.

192. **Velocità del suono nei gas.** — Siccome le onde sonore si propagano successivamente, così il suono non può trasmettersi da un luogo all'altro che in un intervallo di tempo più o meno lungo, il che ci è dimostrato da un gran numero di fenomeni. Il rumore della folgore, per esempio, non si ode che dopo veduto il lampo, quantunque il rumore ed il lampo producansi simultaneamente nella nube.

Furono fatti numerosi tentativi per determinare la velocità di propagazione del suono nell' aria, cioè lo spazio che il suono percorre in un secondo. L' ultimo fu fatto nell'estate del 1822, di notte, dai membri dell'Ufficio delle longitudini. Eransi scelte per stazioni due alture, l' una a Villejuif, l'altra a Montlery presso Parigi. A ciascuna delle stazioni, di dieci in dieci minuti, si sparava un cannone. Gli osservatori di Villejuif udirono assai distintamente i 12 colpi tirati a Montlery; ma quelli di questa ultima stazione non udirono che 7 colpi dei 12 tirati a Villejuif, perchè la direzione del vento era contraria.

A ciascuna stazione gli osservatori notavano, col mezzo di cronometri, il tempo che trascorreva tra l' apparizione della luce, all' istante dell'esplosione, e l' arrivo del suono, il qual tempo poteva ritenersi quello che il suono impiegava a propagarsi da una stazione all'altra, perchè la distanza delle due stazioni non era che di 18612^{m}52, e la luce, come si vedrà in ottica, percorre questa distanza in un tempo sì breve che non può essere valutato. In questo modo si riconobbe che la durata media della propagazione del suono da una stazione all' altra era di 54",6. Epperò, dividendo la distanza delle due stazionii per questo numero, si trova che la velocità del suono è di 340^{m},89 alla temperatura di 16°, la quale era quella dell'atmosfera durante l' esperimento.

La velocità del suono nell'aria decresce colla temperatura; a 10° essa non è più che 337^{m}; a 0° è 333^{m}. Ma a parità di temperatura essa è indipendente dalla densità dell' aria e quindi dalla pressione. A pari temperatura que-

sta velocità è la stessa per tutti i suoni deboli od intensi, gravi od acuti. Infatti, Biot, nelle esperienze sopra citate sulla attitudine dei tubi a trasmettere il suono, riconobbe che quando si suonava il flauto all'estremità d'un tubo di ghisa della lunghezza di 951 metri, i suoni conservavano il loro ritmo all'altra estremità, il che dimostra che i diversi suoni si propagano con velocità eguali.

La velocità del suono è varia nei diversi gas anche a temperature eguali. Facendo risuonare un medesimo tubo d'organo con differenti gas, Dulong ha trovato col calcolo che a 0° la velocità del suono nei gas sotto indicati è

Acido carbonico	261
Ossigeno	317
Aria	333
Ossido di carbonio	337
Idrogeno	1269

193. Formole per calcolare la velocita' del suono nei gas — Newton diede, pei primo, la seguente formola per calcolare la velocità del suono nei gas, alla temperatura zero,

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}},$$

nella quale v rappresenta la velocità del suono, cioè lo spazio che esso percorre in un secondo, e l'elasticità del gas a zero, e d la sua densità, pure a zero.

Da questa formola si deduce che la velocità di propagazione del suono nei gas *è direttamente proporzionale alla radice quadrata della elasticità del gas entro il quale il suono si propaga, ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità*. Risulta parimenti che questa velocità è indipendente dalla pressione, perchè, giusta la legge di Mariotte, variando la pressione, è costante il rapporto della elasticità alla densità.

Rappresentando con g l'intensità della gravità, con h l'altezza del barometro ridotta a zero, e con P la densità del mercurio pure a zero, è evidente che, per un gas soggetto alla pressione atmosferica, l'elasticità e cresce al crescere di ciascuna di queste quantità, e perciò si può supporre $e = gh\,P$. Così la formola di Newton diviene

$$v = \sqrt{\frac{gh\,P}{d}}$$

per la temperatura zero. Ora, crescendo la temperatura di un gas da zero a t gradi, la sua densità varia in ragione inversa dal volume, e, per conseguenza, se si rappresenta con 1 il volume del gas a zero, il suo volume a t gradi sarà $1 + \alpha t$, quando α indichi il coefficiente di dilatazione del gas (Calorico, Capitolo IV, § 266) e la sua densità che è d a zero, a t

gradi sarà $\frac{d}{1+\alpha t}$. Adunque la formola di Newton, per una temperatura t, diventa

$$v = \sqrt{\frac{gh\,P}{d}(1+\alpha t)}.$$

I valori di v ottenuti con questa formola si trovarono sempre minori di quelli che vennero dati dall'esperienza. Laplace assegnò per causa di questa differenza il calore che si sviluppa, per effetto di pressione, nelle onde condensate. Fondandosi sulle idee di Laplace, Poisson e Biot hanno trovato che alla formola di Newton si deve sostituire la seguente:

$$v = \sqrt{\frac{gh\,P}{d}(1+\alpha t)\frac{c}{c'}}$$

dove c indica il calorico specifico, a pressione costante, del gas entro il quale il suono si propaga (Calorico, Capitolo VIII, § 338), e c' il suo calorico specifico, a volume costante. Questa formola così modificata dà valori abbastanza concordanti con quelli forniti dall'esperienza.

194. **Velocità del suono nei solidi e nei liquidi.** — La velocità del suono nei liquidi è molto maggiore che non nell'aria. Colladon e Sturm hanno trovato, col mezzo di esperimenti fatti nel 1827 sul lago di Ginevra, che la velocità del suono nell'acqua è di 1435 metri, cioè più che quadrupla di quella del suono nell'aria.

Nei solidi la velocità del suono è ancora maggiore. Biot, sperimentando sui tubi di ghisa degli acquedotti, ha trovato direttamente che il suono nella ghisa si propaga 10 volte e mezzo più velocemente che nell'aria. La velocità del suono negli altri solidi fu determinata teoricamente da Chladni, Savart, Masson e Wertheim, i quali la dedussero dal numero delle vibrazioni longitudinali o trasversali dei corpi, oppure dal loro coefficiente di elasticità. In tal guisa Chladni trovò che nei legni la velocità del suono è da 10 a 16 volte maggiore che nell'aria. Nei metalli questa velocità varia di più, essendo compresa tra 4 e 16 volte quella che si riscontra nell'aria.

195. **Riflessione del suono.** — Le onde sonore, fino a che non trovano alcun impedimento al loro sviluppo, si propagano sotto forma di sfere concentriche; ma, quando incontrano un ostacolo, ritornano sopra sè stesse, formando nuove onde pure concentriche, le quali sembrano partire da un altro centro situato al di là dell'ostacolo; questo fatto si esprime dicendo che le onde vengono *riflesse*.

La figura 130 rappresenta una serie di onde emesse dal centro A e incidenti sull'ostacolo PQ, che le riflette. Condotta A *a* perpendicolare alla superficie riflettente e divisa da questa superficie in due parti eguali, *a* è il *centro virtuale* delle onde riflesse.

Rappresentando con AC la direzione che segue propagandosi un punto qualunque dell'onda MCDN; condotta CH perpendicolare alla superficie riflettente, l'angolo ACH si chiama *angolo d'incidenza*, e l'angolo RCH, formato dal prolungamento della *a*C colla perpendicolare, chiamasi *angolo di riflessione*.

Ciò posto, la riflessione del suono è soggetta alle due leggi seguenti, le quali valgono anche pel calorico e per la luce.

1.ª *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.*

2.ª *L'angolo di riflessione e l'angolo d'incidenza sono situati in un medesimo piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Secondo queste leggi, il suono che propagasi nella direzione AC (fig. 130) prende, dopo la riflessione, la dire-

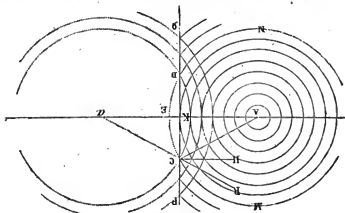



Fig. 130.

zione CR, di maniera che un osservatore posto in R ode, oltre il suono partito dal punto A, un secondo suono che sembra emesso dal punto *a*.

196. **Eco e risuonanze.** — Chiamasi *eco* la ripetizione d'un suono cagionata dalla riflessione del medesimo contro qualche ostacolo.

Per un suono brevissimo, come una percossa, può es-

servi eco allorchè l'ostacolo riflettente sia distante soltanto 17 metri. Questa, per verità, è la distanza che si ammette ordinariamente per tutti i suoni; ma, pei suoni articolati, occorre almeno una distanza doppia, cioè di 34 metri. Di fatti, si può facilmente contastare che non si possono pronunciare od udire distintamente più di cinque sillabe per secondo. Ora la velocità del suono essendo di 340 metri per secondo, ne segue che in un quinto di secondo il suono percorre 68 metri. Per conseguenza, se l'ostacolo riflettente trovasi alla distanza di 34 metri almeno, il suono, per andare all'ostacolo e ritornare, avrà da percorrere almeno 68 metri. Il tempo che passa tra il suono articolato ed il suono riflesso è quindi di un quinto di secondo almeno, epperciò i due suoni non si confonderanno ed il suono riflesso sarà udito distintamente. Da quanto si è detto risulta che, parlando ad alta voce dinanzi ad ostacolo riflettente posto alla distanza di 34 metri, non si può distinguere se non l'ultima sillaba riflessa; l'eco è dunque *monosillaba*. Se l'ostacolo è distante due volte, tre volte 34 metri, l'eco sarà *bisillaba, trisillaba*, e così di seguito.

Allorquando la distanza della superficie riflettente è minore di 34 metri, il suono diretto ed il riflesso tendono a confondersi; ma quantunque non si possano udire separatamente, pure il suono trovasi rinforzato. Questo fenonemo chiamasi *risuonanza*, e si presenta nei grandi appartamenti. Le sale a pareti nude sono assai risuonanti; invece i cortinaggi e le tappezzerie, che mal riflettono i suoni, rendono le sale poco risuonanti.

Dicesi *eco multipla* quella che ripete parecchie volte un istesso suono. È prodotta da due ostacoli posti l'uno di fronte all'altro, per esempio, da due muri paralleli che si rimandano successivamente il suono. Vi sono degli echi che ripetono così un suono da 20 a 30 volte. Famoso, a questo riguardo, è l'eco della Simonetta presso Milano.

Siccome le leggi della riflessione del suono sono le stesse di quelle della luce e del calorico, così le superficie curve danno origine a *fuochi acustici* analoghi ai fuochi luminosi e calorifici che si producono dinanzi agli specchi concavi (351). Se, per esempio, si parla sotto un arco di un ponte colla faccia rivolta ad una delle pile, si trasmette il suono presso l'altra pila con intensità sufficiente per poter conversare a bassa voce, senzachè odano le persone intermedie.

Esiste al piano terreno del Conservatorio delle Arti e Mestieri di Parigi una sala quadrata a vôlta centinata, che presenta questo fenomeno in modo notabile, quando le due persone si collocano a due angoli opposti.

Del resto conviene notare che il suono non si riflette soltanto alla superficie dei corpi solidi, come sono i muri d'un edificio, i legni, le rocce; esso si riflette anche contro le nubi, contro uno strato d'aria di densità diversa da quella che ha già attraversato ed anche contro le vescichette delle nebbie. Infatti, quando c'è nebbia, i suoni subiscono moltissime riflessioni parziali e ben presto s'affievoliscono. Di notte, essendo l'aria calma e di densità uniforme, i suoni propagansi più lontano.

197. **Rifrazione del suono.** — La luce ed il calorico, come si dirà a suo luogo (441), passando da un mezzo ad un altro subiscono un cambiamento di direzione, il quale dicesi *rifrazione*. Non ha guari Sondhauss constatò che le onde sonore si rifragono come le calorifere e le luminose.

A questo fine egli costrusse delle lenti di sostanze aeriformi; empiendo di gas acido carbonico dei recipienti membranosi sferici o lenticolari. Adoperando inviluppi di carta o di membrana sottile animale non si può rendere sensibile la rifrazione del suono, ma con un inviluppo di *collodio* l'esperienza riesce assai bene.

Sondhauss taglia sopra un gran pallone di questa sostanza due calotte eguali e le attacca agli orli di un anello di latta del diametro di 31 centimetri in modo di formare una lente biconvessa, cava, la cui grossezza, al centro, è di circa 12 centimetri. Empita poi di gas acido carbonico la lente così formata, colloca un orologio da tasca sulla direzione dell'asse, indi dall'altro lato della lente cerca il luogo ove si ode il battito con maggiore intensità. Allora si trova che se l'orecchio è lontano dall'asse il suono è appena percettibile, mentre sull'asse, e ad una conveniente distanza, il suono si ode assai distintamente. Adunque i raggi sonori, emergendo dalla lente, vanno a concorrere verso l'asse, il che dimostra che questi raggi sono stati rifratti. (*)

(*) Alcune recenti esperienze istituite dal Prof. Hajech (Vedi *Giornale del R. Istituto Lombardo*, Tomo VIII, fasc. 47-48 dell'Agosto 1856) tenderebbero a dimostrare principalmente: 1.° che la rifrazione avviene sempre allorchè il suono passa da un mezzo in un altro; 2.° che le leggi di questo fenomemo sono analoghe a quelle già note relativamente alla rifrazione della luce. (*Nota dei Trad.*).

198. **Porta voce, corno acustico.** — Il *porta voce* ed il *corno acustico* sono due strumenti fondati e sulla riflessione del suono e sulla conducibilità de' tubi cilindrici (191).

Il portavoce, o *tromba stentorea*, come lo indica il suo nome, è destinato a trasmettere a grandi distanze la voce, e consiste in un tubo di latta o di ottone (fig. 131), a tronco di cono molto allungato ed assai svasato ad una delle estremità, la quale si chiama *padiglione*. All'altra estremità si applica la bocca. Questo strumento porta la voce tanto più lontano quanto maggiori sono le sue dimensioni. Il qual fenomeno si spiega per mezzo delle riflessioni successive delle onde contro le pareti del tubo,

Fig. 131.

che rendono queste onde sempre meno divergenti. Nella teoria del portavoce il calcolo fa conoscere che si deve anche aver riguardo all' incremento che prende l'ampiezza dell'oscillazione delle molecole aeree presso al padiglione.

Il corno acustico serve alle persone di duro orecchio. È un tubo conico di metallo, di cui un estremo terminato a padiglione è destinato a ricevere un suono, mentre l'altro s'introduce nell'orecchio. Il padiglione serve a ricevere i suoni dalla bocca della persona che parla; questi suoni si trasmettono per successive riflessioni nell'interno dello strumento in maniera che quelle onde, le quali avrebbero preso un grande sviluppo, trovansi invece concentrate nell'apparecchio uditivo e vi producono un effetto ben più sensibile di quello che vi avrebbero prodotto delle onde divergenti.

CAPITOLO II.

VIBRAZIONI DELLE CORDE, NUMERO DI VIBRAZIONI CORRISPONDENTE AD UN DATO SUONO.

199. **Vibrazioni delle corde.** — In acustica si chiamano *corde* dei corpi filiformi elastici per tensione.

Si distinguono nelle corde due specie di vibrazioni, le une *trasversali*, o in direzione perpendicolare alla lunghezza della corda, le altre *longitudinali*, cioè nel verso della lunghezza. Le prime si producono con un archetto, come nel violino, o pizzicandole, come si fa coll'arpa e colla chitarra. Le vibrazioni longitudinali si eccitano sfregando le corde nel verso della lunghezza con un pezzo di stoffa cospersa di colofonia in polvere.

200. **Sonometro**. — Il *sonometro* è un apparato che serve a studiare le vibrazioni trasversali delle corde. Esso chiamasi anche *monocordo*, perchè spesso ha una sola corda. Quest'apparato consta di una cassa di legno sottile destinata a rinforzare il suono, sulla quale sono fissati due cavalletti A e D (fig. 132), sormontati da una

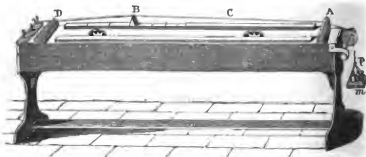



Fig. 132. ($l = 134$).

corda metallica fissa ad un capo e tesa all'altro da pesi P, che si fanno variare ad arbitrio. Un terzo cavalletto B può scorrere sulla cassa per far variare la lunghezza della parte di corda che si vuol mettere in vibrazione.

201. Leggi delle vibrazioni trasversali delle corde. — Rappresentando con l la *lunghezza* d'una corda, cioè la parte vibrante compresa tra i cavalletti A e B (fig 124), con r il raggio della sua sezione, con d la sua densità, con P il peso che la tende e con n il numero delle vibrazioni in ogni minuto secondo, trovasi col mezzo dell'analisi $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$, dove π indica il rapporto tra la circonferenza ed il diametro.

Da questa formola si deducono le quattro leggi seguenti:

1.ª *Restando costante la tensione di una corda, il numero delle vibrazioni, in tempi eguali, è in ragione inversa della sua lunghezza.*

2.ª *A parità di condizioni, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa del raggio della corda.*

3.ª *Il numero delle vibrazioni d' una corda è direttamente proporzionale alla radice quadrata del peso che la tende.*

4.ª *A parità di circostanze, il numero delle vibrazioni di una corda è inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità.*

Nella musica queste leggi si applicano agli strumenti da corda, nei quali si fanno variare la lunghezza, il diametro e la tensione delle corde in modo che queste possano produrre le diverse note.

202. **Nodi e linee nodali.** — Quando un corpo vibra, oltre al vibrare nella sua totalità, si divide generalmente in un certo numero di parti aliquote in ciascuna delle quali si compiono speciali vibrazioni.

Fig. 133.

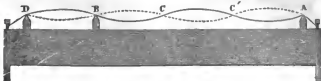



Fig. 134.

Queste diverse parti sono separate da punti o da linee che vibrano sì poco da potersi riguardare come sensibilmente fisse. Questi punti diconsi *nodi*, e queste linee *linee nodali*. Le parti vibranti comprese tra due nodi o due linee nodali consecutive si chiamano *concamerazioni*. La parte centrale di una concamerazione, dove le vibrazioni hanno la massima ampiezza, costituisce un *ventre*.

Le corde vibranti offrono esempj curiosi di nodi e di ventri, allorchè si faccia vibrare soltanto una parte aliquota della loro lunghezza, cioè un terzo, un quarto, un quinto. Per ciò sotto la corda fissata a'suoi capi nel modo sopra indicato si fa scorrere un piccolo cavalletto, fermandolo successivamente ad un terzo, ad un quarto, ad un quinto della corda. Quando il cavalletto è ad un terzo,

come rappresenta la figura 125, si fa vibrare la parte BD con un archetto; allora l'altra parte AB si suddivide da sè in due parti AC e CB che vibrano separatamente, mentre il punto C rimane sensibilmente fisso, come si può verificare collocando dei pezzettini di carta l'uno in C, l'altro tra B e C, un terzo tra C ed A. Quello che trovasi in C non è scosso che leggermente, mentre gli altri due sono slanciati a distanza; epperò nel primo punto trovasi un nodo, ed un ventre in ciascuno degli altri due. Se il cavalletto si colloca ad un quarto della corda (fig. 126), si producono tra A e B due nodi e tre ventri; se si pone ad un quinto, si formano tra gli stessi punti tre nodi e quattro ventri, e così di seguito.

Fra poco vedremo (223) come si riconosca l'esistenza e la configurazione delle linee nodali nelle lamine e nelle membrane vibranti.

MISURA DEL NUMERO DELLE VIBRAZIONI.

203. **Sirena.** — Diversi apparati vennero immaginati per misurare il numero di vibrazioni corrispondenti ad un

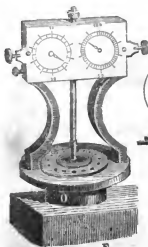
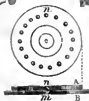
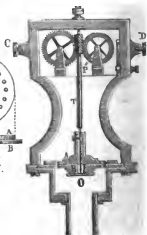



Fig. 135. *Fig.* 137. *Fig* 136.

dato suono, cioè: *la sirena, la ruota dentata di Savart*, *il cilindro girante di Duhamel*, *il fonautografo di L. Scott.* Qui non descriveremo che i tre primi; più innanzi terremo discorso del *fonautografo* (228). *La sirena* è un pic-

colo apparato che serve come la ruota di Savart a misurare con precisione il numero delle vibrazioni eseguite da un corpo sonoro in un tempo determinato. Cagniard-Latour, suo inventore, diede a questo strumento il nome di sirena perchè può dare dei suoni anche sott'acqua.

La sirena è formata interamente di ottone. La figura 135 rappresenta questo strumento montato sopra la cassa di un mantice che descriveremo più innanzi (fig. 138) e che serve a spingere nella sirena una corrente continua di aria. Le figure 136 e 137 mostrano le parti interne della sirena. La parte inferiore consiste in una scatola cilindrica O coperta da un piatto fisso B. Su questo piatto si appoggia un'asta verticale T a cui è unito un disco A che può rotare liberamente insieme coll'asta. Nel piatto B sono praticati dei fori circolari equidistanti, e nel disco A si trova un egual numero di fori di grandezze eguali e distanti dal centro come quelli del piatto. Questi fori non sono diretti perpendicolarmente ai piani del piatto e del disco, ma nel piatto sono tutti inclinati egualmente e in direzioni parallele fra loro; nel disco poi sono inclinati in verso contrario, di maniera che quando trovansi di fronte gli uni agli altri sono disposti come si vede in *mn* nella figura 137, la quale rappresenta una sezione dei due dischi A e B secondo i due fori anteriori nell' istante in cui si corrispondono. Da questa disposizione risulta che quando una corrente d'aria è spinta con forza dal mantice nella scatola cilindrica e nel foro *m*, essa percuote le pareti del foro *n* ed imprime nel disco A un movimento nel verso *n*A.

Per semplificare la spiegazione dell'effetto della sirena, supponiamo innanzi tutto che il disco mobile A abbia 18 fori e il piatto fisso B ne abbia uno solo, e consideriamo il caso in cui questo foro corrisponda ad uno dei fori superiori. Allorchè il soffio del mantice viene ad urtare obliquamente la parete di quest'ultimo, il disco mobile comincia a girare, e la parte piena che trovasi fra due fori consecutivi va a chiudere il foro del piatto inferiore. Ma, per la velocità acquistata, continuando il disco superiore a girare si pongono ancora di fronte due fori, onde nasce un nuovo impulso, e così di seguito. Per tal guisa nella durata d'una rotazione intiera del disco, l'orifizio inferiore si trova 18 volte aperto e 18 volte chiuso. Ne risulta una serie di efflussi e di fermate, che mettono in vibrazione l'aria e riescono a produrre un suono allor-

chè i successivi impulsi sono abbastanza rapidi. Ora, supponendo che il piatto fisso B abbia 18 fori come il disco mobile, tutti questi fori produrranno simultaneamente lo stesso effetto, e quindi il suono sarà 18 volte più intenso, ma il numero delle vibrazioni non ne verrà alterato. In ogni caso esso è di 18 vibrazioni doppie per secondo.

Per conoscere il numero di vibrazioni corrispondente a quel suono che produce l'apparecchio quando è in moto, rimane a sapersi quante rotazioni per ogni secondo eseguisca il disco A. A questo intento, l'asta T porta una vite perpetua che trasmette il movimento ad una ruota di 100 denti. Questa ruota, che progredisce d'un dente ad ogni rotazione del disco, ha un'appendice P, la quale, ad ogni giro, fa avanzare d'un dente una seconda ruota che nella figura 136 è collocata alla sinistra. Gli assi di queste ruote fanno girare due indici che si muovono sopra mostre rappresentate nella figura 135. Questi indici segnano l'uno il numero di giri del disco, l'altro le centinaia di giri. Due bottoni D e C servono a far ingranare la ruota minore colla vite perpetua od a liberarnela ad arbitrio.

Siccome il suono diventa sempre più acuto col crescere della velocità del disco, così basta far variare il soffio fino a che lo strumento produca quel determinato suono che si vuol misurare. Allora si mantiene costante la corrente d'aria per un certo tempo, a cagione d'esempio, per due minuti, poi si legge sulle mostre il numero di giri che ha fatto il disco. Moltiplicando questo numero per 18 e dividendo il prodotto per 120, cioè pel numero dei minuti secondi, il quoziente esprime il numero delle vibrazioni per ogni minuto secondo.

A pari velocità la sirena dà il medesimo suono nell'acqua, nell'aria e in tutti i gas, d'onde risulta che l'acutezza del suono dipende unicamente dal numero delle vibrazioni, non dalla natura del corpo sonoro.

204. Mantice. — In acustica chiamasi *mantice* un soffietto con serbatojo d'aria, che serve a far funzionare gli strumenti a vento, come la sirena e le canne da organo. Fra i quattro piedi d'un tavolo di legno si trova un soffietto C (fig. 138), che si mette in movimento col mezzo d'un pedale P. Un serbatojo D di pelle flessibile serve a raccoglier l'aria che vi è spinta dal soffietto. Comprimendo questo serbatojo con pesi sovrapposti o con un'asta T, che si muove a mano, l'aria è spinta per un condotto E in

una cassa fissata sulla tavola. Questa cassa ha dei fori chiusi da piccole valvole di pelle, che apronsi ad arbitrio com-

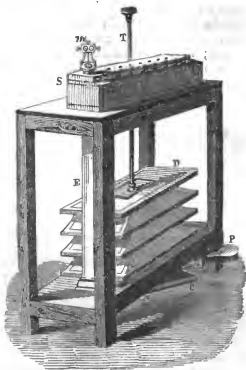



Fig. 138 ($a = 130$).

primendo dei tasti collocati sul davanti della cassa. A questi fori si adattano dei tubi sonori ovvero una sirena *m*.

205. **Ruota dentata di Savart.** — La *ruota dentata di Savart*, così chiamata dal nome del suo inventore, è un apparato che serve a far conoscere il numero assoluto di vibrazioni corrispondente ad un suono determinato. Essa risulta di una panca di rovere ben ferma e perforata in tutta la sua lunghezza. Nella sua apertura possono muoversi due ruote A e B (fig. 139), la prima delle quali serve ad imprimere una grande velocità all'altra, che è più piccola, ed ha la periferia munita di denti, destinati a far vibrare una carta E fissata al tavolato. Questa carta, essendo urtata al passaggio di ciascun dente, ad ogni rivoluzione della ruota piccola, fa tante vibrazioni quanti sono i denti. Finalmente, sopra una piccola mo-

stra H trovasi un indice che è posto in movimento dall'asse della ruota dentata e segna il numero di giri fatti dalla medesima in un dato tempo, e per conseguenza il numero delle vibrazioni.

Comunicando dapprima alla ruota dentata un moto lento, si odono distintamente gli urti successivi dei denti contro la carta; ma, aumentando gradatamente la velocità, si ottiene un suono continuo di mano in mano più acuto. Quando si giunge per tal modo a riprodurre quel

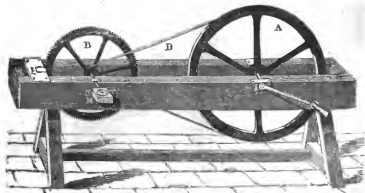



Fig. 139.

suono, di cui si desidera conoscere il numero delle vibrazioni, si mantiene costante la stessa velocità per un determinato numero di secondi, e, leggendo in seguito sull'apparato misuratore il numero di giri della ruota dentata B, basta moltiplicare questo numero per quello dei denti per ottenere il numero totale delle vibrazioni. Dividendo in fine questo prodotto pel corrispondente numero di secondi, il quoziente dà il numero richiesto di vibrazioni per ogni minuto secondo.

206. **Metodo grafico di Duhamel.** — Adoperando la sirena o la ruota dentata di Savart torna difficile determinare con precisione il numero di vibrazioni corrispondenti ad un dato suono, poichè bisogna metterle all'unisono con questi, per il che ci vuole un orecchio esercitato. Il metodo grafico di Duhamel, più semplice e più preciso, non presenta questa difficoltà, e consiste nel fissare sul corpo sonoro uno stilo leggiero che ne traccia le vibrazioni su di una superficie convenientemente preparata.

L'apparato di Duhamel risulta di un cilindro R, di legno o di metallo, fissato su di un asse verticale O (fig. 140). Mediante un manubrio si fa ruotare quest'asse, il quale, movendosi in un verso o nell'altro, assume un movimento di alto in basso o di basso in alto, per mezzo di un passo di vite scolpito sull'asse medesimo e attraversando una madrevite. Intorno al cilindro è avvolto un foglio di carta coperto di strato leggiero e non aderente

Fig. 141.

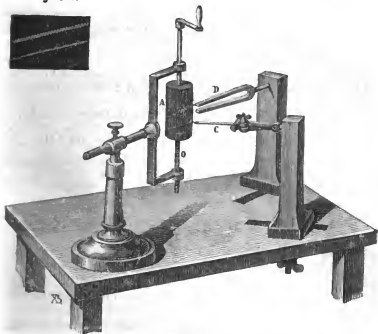



Fig. 140.

di nero di fumo. Perciò, essendo, a cagione d'esempio, il corpo sonoro una lamina elastica C fortemente incastrata ad una delle sue estremità, si fissa all'altra uno stilo leggiero che rasenta la superficie del cilindro mentre questo va ruotando. Se il cilindro gira senza che la lamina vibri, lo stilo traccia in bianco sul fondo nero una linea elicoidale regolare; ma se la lamina vibra, la linea è ondulata, e le ondulazioni sono tante quante le vibrazioni della lamina. Più non rimane che da determinare il tempo durante il quale queste vibrazioni si sono effettuate.

Si può in varii modi raggiungere questo scopo: il più

semplice consiste nel confrontare la curva tracciata dalla lamina vibrante con quella tracciata da un corista (215), il quale dà per ogni minuto secondo un numero di vibrazioni noto, per esempio 500. Ad uno dei rami del corista si fissa uno stilo leggiero che si mette in contatto col nero di fumo, indi si fanno vibrare simultaneamente la lamina e il corista; i due stili tracciano allora due elici ondulate ma inegualmente. Ora, distendendo il foglio di carta avviluppante il cilindro (fig. 141), e confrontando i numeri di oscillazioni che si corrispondono sulle due curve, torna facile il dedurre quante vibrazioni compì la lamina in un minuto secondo. Suppongasi, a cagione d'esempio, che a 150 vibrazioni del corista corrispondano 165 vibrazioni della lamina; ciascuna vibrazio- del corista durando, per ipotesi, $^1/_{500}$ di minuto secondo, 150 vibrazioni corrispondono a $\frac{150}{500}$ di minuto secondo; e perciò in $\frac{150}{500}$ di minuto secondo la lamina ha fatto 165 vibrazioni. Per conseguenza in $^1/_{500}$ di minuto secondo essa ne ha effettuate $\frac{165}{501}$, ed in un minuto secondo $\frac{165 \times 500}{150}$ cioè 550.

207. **Limite dei suoni percettibili** — Prima di Savart i fisici ammettevano che l'udito cessa di percepire il suono allorchè il numero delle vibrazioni semplici, per ogni minuto secondo, è al disotto di 32 pei suoni gravi, ovvero superiore a 18 mila per gli acuti. Ma questo fisico dimostrò che questi limiti erano troppo ristretti, e che la facoltà di percepire più o meno facilmente dei suoni assai gravi ed assai acuti dipende piuttosto dalla intensità che dall'altezza, di maniera che i suoni estremi riescono impercettibili per mancanza di intensità sufficiente a produrre l'impressione sull'organo dell'udito.

Aumentando il diametro della sua ruota dentata (205), quindi l'ampiezza e l'intensità delle vibrazioni, Savart portò il limite dei suoni acuti fino a 48 mila vibrazioni semplici per minuto secondo.

Pei suoni gravi egli sostituì alla sua ruota dentata una spranga di ferro lunga 65 centimetri, che s'aggira tra due lamine sottili di legno distanti dalla spranga di soli 2 millimetri. Ad ogni passaggio si produce un suono secco dovuto allo spostamento dell'aria. Accelerandosi il movimento, il suono diventa continuo, assai pieno ed assor-

dante. Savart si assicurò col mezzo di questo apparecchio che 14 o 16 vibrazioni semplici per ogni minuto secondo danno un suono assai grave, il quale però è ancora percepito distintamente.

Despretz, che fece delle indagini intorno allo stesso argomento, trovò 32 vibrazioni semplici per limite dei suoni gravi e 73700 per limite degli acuti.

CAPITOLO III.

TEORIA FISICA DELLA MUSICA.

208. Qualità del suono musicale. — Il *suono musicale* è il risultato di vibrazioni continue, rapide ed isocrone, che producono sull'organo dell'udito una impressione prolungata. Un tal suono può sempre paragonarsi ad altri suoni e si può trovarne l'unisono, il che non può farsi pei rumori (184).

L'orecchio distingue nel suono musicale tre qualità parcolari, l'altezza, la intensità e la tempera (*timbre*).

L'*altezza* è l'impressione che produce sull'organo dell'udito il maggiore o minor numero di vibrazioni che si compiono in un determinato tempo.

Si dicono suoni *gravi*, o *bassi*, quelli prodotti da lente vibrazioni, ed *acuti*, o *alti*, quelli che provengono da vibrazioni rapide. Non sarebbero dunque gravi od acuti in senso assoluto se non quei suoni che trovansi alle estremità della scala dei suoni percettibili, e quindi i suoni intermedii non sono gravi od acuti se non in modo relativo. Nondimeno un suono dicesi grave od acuto, come suol dirsi una temperatura bassa od elevata, paragonando cioè il suono a quelli che odonsi più comunemente.

Il rapporto di gravità o di acutezza di due suoni si chiama *tuono*, onde questa parola esprime il grado di altezza di un suono: sotto il punto di vista musicale poi esprime il grado di altezza della gamma nella quale si produce il suono.

Si è già veduto (189) che *l'intensità* o corpo del suono dipende dall'ampiezza delle oscillazioni e non dal loro numero. Può, infatti, un medesimo suono conservare lo stesso grado di gravità o di acutezza, ed acquistare intensità diversa al variare dell'ampiezza delle oscillazioni che lo producano. Così è del suono prodotto da una corda tesa, secondo che la si allontani più o meno dalla sua posizione di equilibrio.

La *tempera* è la qualità per cui si possono distinguere perfettamente due suoni della stessa altezza e della stessa intensità, prodotti da due strumenti diversi. Il suono dell'oboe, per esempio, è ben distinto da quello del flauto, il suono del corno da quello del bassone. Parimenti la voce umana presenta una tempera ben diversa a norma degli individui, dell'età e del sesso.

Non è ben nota la causa della tempera del suono. Pare che questa qualità dipenda non solo dalla sostanza di cui sono costituiti gli strumenti, ma altresì dalla loro forma e dal modo di vibrazione. Di fatti, si cangia totalmente il suono d'una tromba d'ottone incrudito facendola ricuocere in un forno; si osserva pure che la tromba dritta dà un suono più fragoroso della ricurva.

209. **Unisono.** — Di due suoni prodotti da un egual numero di vibrazioni per ogni minuto secondo si dice che sono all'*unisono*; essi sono egualmente gravi od acuti. Per esempio, la ruota di Savart e la sirena sono all'unisono quando i loro apparecchi misuratori indicano uno stesso numero di vibrazioni in un medesimo tempo.

Mettendo la sirena all'unisono d'un corpo che dia suono musicale, si può avere il numero delle vibrazioni ch'esso compie. Non si può fare altrettanto pei rumori, essendo impossibile prenderne l'unisono.

Siccome un suono è determinato dal numero delle vibrazioni che gli corrispondono, così esso può essere rappresentato da questo numero, e ciò appunto si convenne di fare per confrontare tra loro i suoni che costituiscono la scala musicale.

210. **Scala musicale, gamma o solfa.** — Si chiama *scala musicale* una serie di suoni separati gli uni dagli altri da certi intervalli, che sembrano aver la loro origine dalla natura della nostra organizzazione.

In questa serie i suoni si riproducono periodicamente nel medesimo ordine di sette in sette; ogni periodo dicesi *gamma* o *solfa*, ed i sette suoni o *note* di ogni gamma si denominano *do, re, mi, fa, sol, la, si.*

Le note della gamma si possono rappresentare con numeri. A questo effetto si prende per *do* il *suono fondamentale* del sonometro (200), cioè il suono prodotto dal vibrare della corda intiera. Facendo poi variare la posizione del cavalletto mobile B (132), un esperimentatore avente l'orecchio esercitato può facilmente trovare la lunghezza che convien dare successivamente alla parte

vibrante AB per ottenere le altre sei note. Rappresentando con 1 la lunghezza della corda che produce il *do*, si trova che le lunghezze della corda corrispondenti alle altre note sono rappresentate dalle frazioni seguenti:

(A)	Note	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Lunghezze relative delle corde	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$

La lunghezza della corda che dà il *re* è quindi soltanto $\frac{8}{9}$ di quella che produce il *do*; quella che dà il *mi* è solo $\frac{4}{5}$ della lunghezza della medesima corda, e così di seguito. Questi numeri possono dunque rappresentare le note della solfa per mezzo delle lunghezze relative delle corde che li producono.

Continuando a spostare il cavalletto del sonometro, si trova che l'ottavo suono è prodotto dalla metà della corda che produce il suono fondamentale. Partendo da questo suono, comincia di nuovo la serie dei rapporti indicati poc'anzi, e si ottiene una nuova solfa affatto analoga alla prima, ove la lunghezza della corda corrispondente a ciascuna nota è la metà di quella che corrisponde alla nota dell'istesso nome nella solfa precedente; e così di seguito per una terza e per una quarta solfa.

Per aver il numero relativo di vibrazioni corrispondenti ad ogni nota, a tempi eguali, basta invertire le frazioni della tavola precedente, poichè, giusta la prima legge delle vibrazioni delle corde (200) il numero delle vibrazioni d'una corda è in ragione inversa della sua lunghezza. Rappresentando adunque con 1 il numero di vibrazioni corrispondenti al suono fondamentale che si è preso per *do*, si forma la seguente tavola:

(B)	Note	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Numeri relativi delle vibrazioni	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$

La solfa di cui si sono qui indicati i rapporti dei numeri di vibrazioni si chiama solfa *diatonica*; e dicesi solfa *cromatica* una solfa che procede per semitoni e che si compone di 13 note.

211. **Numero assoluto di vibrazioni per ciascuna nota.** — La sirena offre un mezzo semplice per dedurre dalla tavola precedente l'effettivo numero di vibrazioni che corrisponde a ciascuna delle note della scala musicale. Infatti, posta all'unisono col *do* fondamentale, essa ce ne fa conoscere il preciso numero di vibrazioni; ed allora basta moltiplicare questo numero pei rapporti $\frac{9}{8}, \frac{5}{4}$ .... della tavola precedente per ottenere i numeri di vibrazioni delle altre note.

Ora, siccome il suono fondamentale che si è preso per *do* varia colla lunghezza, colla tensione e colla natura della corda del sonometro, altrettanto dovrà avvenire del numero delle vibrazioni che gli corrispondono. Adunque gli effettivi numeri di vibrazioni calcolati nel modo esposto potrebbe avere moltissimi differenti valori a cui corrisponderebbero altrettante differenti solfe.

Fra tutte le solfe che si possono per tal modo rappresentare, fu scelta quella il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e si fece in fisica la convenzione di contraddistinguere le note di questa solfa coll'indice 1, mentre si danno alle note delle solfe più alte gli indici 2, 3, . . . ed alle note delle solfe più basse gli indici — 1, — 2, . . .; cioè si denotano rispettivamente le prime coi simboli do_2, re_2, do_3, re_3, ..., e le seconde coi simboli do_{-1}, re_{-1}, do_{-2}, re_{-2}, ...

Ciò posto, siccome l'esperienza dimostra che il numero di vibrazioni corrispondente al suono più grave del violoncello è 128, bisogna moltiplicare questo numero pei rapporti che sono esposti nella tabella B (pag. 205) per ottenere il numero assoluto di vibrazioni di ciascuna nota; onde risulta la seguente tavola:

(C)							
Note	do_1	re_1	mi_1	fa_1	sol_1	la_1	si_1
Numeri assoluti di vibrazioni semplici	128	144	160	170	192	214	240

I numeri assoluti di vibrazioni per le gamme superiori si ottengono moltiplicando successivamente per 2, per 4, per 8... i numeri della tavola C, e per le gamme inferiori, dividendo questi stessi numeri per 2, 4... Per esempio, il numero di vibrazioni semplici del la_3 è eguale a 214×4, ossia a 856 per minuto secondo.

212. **Lunghezze delle onde.** — Conoscendosi il numero di vibrazioni semplici che fa un corpo sonoro in un minuto secondo, si può facilmente dedurne la lunghezza delle onde. Infatti, si sa che il suono percorre 340 metri, ossia circa 1024 piedi per secondo. Se pertanto un corpo compiesse una sola vibrazione semplice per secondo, la lunghezza dell'onda sarebbe di 1024 piedi; se ne facesse due, la lunghezza dell'onda sarebbe la metà di 1024 piedi, e così di seguito. Ora, si è veduto che al *do*$_1$, corrispondono 128 vibrazioni semplici per ogni secondo; adunque la lunghezza delle sue onde è il quoziente di 1024 piedi per 128, cioè 8 piedi.

La seguente tabella indica la lunghezza dell'onda corrispondente alla prima nota delle successive solfe;

	Lunghezza delle onde in piedi	Numero di vibrazioni
do—$_3$	64	16
do—$_2$	32	32
do—$_1$	16	64
do$_1$	8	128
do$_2$	4	256
do$_3$	2	512
do$_4$	1	1024

213. **Intervalli, diesis e bemolli.** — Dicesi *intervallo*, in musica, il rapporto d'un suono all'altro, cioè la quantità che indica di quanto un suono è più elevato d'un altro.

L'intervallo da *do* a *re* si chiama una *seconda;* quello da *do* a *mi* una *terza;* da *do* a *fa* una *quarta;* da *do* a *sol* una *quinta;* da *do* a *la* una *sesta;* da *do* a *si* una *settima;* da *do* a *do* un'*ottava*. La seguente tabella dà gli intervalli delle note consecutive della solfa ottenuti dividendo il numero di vibrazioni di una nota qualunque per quello delle vibrazioni della nota immediatamente inferiore.

(D)	Note	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
	Numeri relativi delle vibrazioni	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2.
	Intervalli	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

Si scorge che gli intervalli differenti riduconsi a tre, che sono $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ e $\frac{16}{15}$. Il primo, che è il più grande, chiamasi *tono maggiore;* il secondo, *tono minore;* ed il terzo, che è il più piccolo, dicesi *semitono maggiore.*

L'intervallo tra il tono maggiore ed il tono minore che è $\frac{80}{81}$ chiamasi *comma.* È il più piccolo intervallo che si consideri, e, per apprezzarlo, si richiede un orecchio esercitato.

I musici intercalarono tra le note della gamma altre note intermedie e che si denominano *diesis* e *bemolli.* *Portare* una nota *al diesis* significa aumentare il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; *ridurla a bemolle* vuol dire diminuire questo stesso numero nel rapporto di 25 a 24. Nella musica il *diesis* è notato col segno ♯, ed il *bemolle* col segno ♭.

214. **Accordo perfetto, dissonanza.** — In generale, si chiama *accordo* la coesistenza di parecchi suoni i quali producono una sensazione aggradevole. Vi è accordo soltanto allorchè i numeri delle vibrazioni dei suoni simultanei sono in un rapporto semplice; se il rapporto non è semplice si prova una sensazione spiacevole, e si dice che vi è *dissonanza.* Il più semplice degli accordi è l'unisono, indi seguono l'ottava, la quinta, la terza, la quarta e la sesta.

Si chiama accordo perfetto la coesistenza di tre suoni tali che il primo ed il secondo formino una terza maggiore, il secondo ed il terzo un terza minore, il primo ed il terzo una quinta, tali cioè che i numeri delle vibrazioni corrispondenti stiano fra loro come i numeri 4, 5, 6. Tali sono le tre note *do, mi, sol;* i cui numeri di vibrazioni stanno fra loro come 1, $\frac{5}{4}$ e $\frac{3}{2}$ o come 4, 5 e 6. Di tutti gli accordi questo è quello che produce la sensazione più gradita all'orecchio.

215. **Battimenti.** — Quando si producono simultaneamente due suoni che non sono all'unisono, odesi ad

intervalli eguali un rinforzo del suono che dicesi *battimento*. Se, per esempio, i numeri delle vibrazioni dei due suoni sono 30 e 31, dopo 30 vibrazioni del primo o 31 del secondo avrà luogo una coincidenza e quindi un battimento. Se i battimenti si succedono abbastanza rapidamente per produrre un suono continuo, questo suono sarà evidentemente più grave di quelli dai quali deriva, perchè non corrisponde ad esso che una vibrazione sola, nel tempo che gli altri ne compiono rispettivamente 30 e 31.

216. **Corista.** — Il *corista* o *diapason* è un piccolo strumento col quale si riproduce, quando si voglia, una nota invariabile e che perciò riesce opportuno ad accordare gli strumenti musicali. Esso consiste in una verga d'acciaio ricurva a guisa di pinzetta (fig. 142), e si fa vibrare o sfregandone i lembi con un archetto, o allontanando rapidamente i suoi due rami per mezzo d'un cilindro di ferro che s'introduce a forza tra i medesimi, come lo mostra la figura. I due rami, allontanati in tal modo dalla loro posizione di equilibrio, vi ritornano vibrando, e producono un suono che per ciascun corista è costante. Il suono si rinforza fissando lo strumento sopra una cassa di legno tenero, aperta ad un estremo. Già da parecchi anni erasi notato che, non solo il *diapason* andava sempre più elevandosi sui grandi teatri d'Europa, ma non era più eguale per Parigi, Vienna, Berlino, Milano, ecc. Siccome ciò era causa evidente di gravi inconvenienti per l'arte musicale, pei compositori e per gli artisti, così fu recentemente istituita una commissione per stabilire, almeno in Francia, un *diapason* musicale uniforme e fissare un campione che potesse servire di tipo invariabile. Ora questa commissione adottò un *diapason normale* obbligatorio per tutti gli stabilimenti musicali di Francia, incominciando dal 1 dicembre 1859. Questo *diapason*, un campione del quale venne depositato presso il Conservatorio di musica di Parigi, dà 870 vibrazioni per

Fig. 142.

secondo; cioè il *la3*, suono che si trae dalla terza corda del violino.

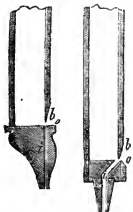
CAPITOLO IV.

VIBRAZIONE DELL'ARIA NEI TUBI SONORI.

217. **Tubi sonori**. — Si chiamano *tubi sonori* dei tubi entro i quali si producono suoni facendo vibrare la colonna d'aria ch'essi contengono. Questi tubi si chiamano anche strumenti a vento. Nei vari apparecchi sin qui descritti il suono è prodotto dalle vibrazioni di corpi solidi, e l'aria non ne è che il veicolo. Negli strumenti a vento, le cui pareti abbiano una certa consistenza, il solo corpo sonoro è la colonna d'aria in essi rinchiusa. Infatti, si riconosce che la sostanza dei tubi non ha influenza sul suono, il quale, a parità di dimensioni, resta sempre lo stesso nei tubi di legno, di cristallo o di altre sostanze, mentre ne è modificata soltanto la tempera.

Fig. 143. Fig. 144.

Riguardo al modo di far vibrare l'aria nei tubi, si possono distinguere gli strumenti a vento in istrumenti a *bocca*, strumenti a *pivetta rigida* e strumenti a *pivetta membranosa*.

218. **Strumenti a bocca**. — Negli strumenti a bocca tutte le parti dell'imboccatura sono fisse. La figura 144 rappresenta l'imboccatura d'un tubo d'organo; la figura 143 rappresenta quella dello zufolo o del piffero. In ambedue le figure l'apertura *i* si chiama la *luce*, e per essa s'introduce l'aria nel tubo; *bo* è la *bocca*, il cui *labbro* superiore *b* è tagliato ad ugnatura. Nella parte superiore delle due figure è rappresentato il tubo, il quale può essere aperto o chiuso. Nella figura 144 il *piede* P serve a fermare il tubo sopra un mantice (fig. 138).

Una rapida corrente d'aria che passi per la luce va a frangersi contro il labbro superiore. Quindi risulta un urto, pel quale l'aria non esce dalla bocca *bo* in modo continuo, ma solo ad intermittenze; onde poi ne derivano

delle pulsazioni che trasmettendosi all'aria del tubo la mettono in vibrazione e le fanno produrre un suono. Per ottenere un suono ben distinto, conviene che siavi un certo rapporto fra le dimensioni delle labbra, l'apertura della bocca e la grandezza della luce, e finalmente il tubo deve avere una grande lunghezza in confronto al suo diametro. In generale, il numero delle vibrazioni dipende dalle dimensioni del tubo e dalla velocità della corrente d'aria.

Nel flauto l'imboccatura consiste in una semplice apertura laterale e circolare. La disposizione che si dà alle labbra fa sì che la corrente d'aria viene a frangersi contro i lembi di questa apertura. Lo stesso accade nella sampogna ed in una chiave femmina adoperata per fischiare.

Fig. 145. Fig. 146.

219. **Strumenti a pivetta.** — Negli strumenti a pivetta l'aria si fa vibrare per mezzo di una semplice linguetta elastica, la quale è posta in moto da una corrente d'aria. Queste specie di pivette si trovano nell'oboe, nel basssone, nel clarinetto, nelle trombette dei fanciulli e nella ribebba, che è il più semplice degli strumenti di questa specie. Alcuni tubi d'organo sono a bocca, come quelli descritti poc'anzi (fig. 144), ed altri a pivetta rigida.

La figura 145 rappresenta uno di questi ultimi colla disposizione che gli si suol dare per la dimostrazione nelle scuole. È montato sulla cassa Q di un mantice, ed attraverso ad un vetro E incastrato nelle pareti del tubo si possono scorgere le vibrazioni della linguetta. Un corno H di legno serve a rinforzare il suono.

La figura 146 rappresenta la pivetta fuori del suo tubo. Essa è composta di quattro pezzi, che sono: 1.° Un tubo

rettangolare di legno chiuso inferiormente ed aperto al di sopra in *o*. 2.° Una piastra di ottone *cc*, in cui è aperta una finestra longitudinale, che si chiama il *canaletto*, destinata a dar passaggio all'aria dal tubo MN fino all'orifizio *o*. 3.° Una lamina elastica *l*, che dicesi *linguetta* e che, in istato di riposo, rade i lembi del canaletto e quasi lo chiude. Questa linguetta è fissata soltanto alla sua parte superiore. 4.° Un filo di ferro *r*, il cui capo inferiore ricurvo preme la linguetta. Questo filo di ferro, che chiamasi la *molla*, può essere abbassato più o meno per regolare tutti i movimenti della linguetta e determinare la altezza del suono che si vuol farle produrre. La molla serve ad accordare perfettamente i tubi a pivetta. Riposta la pivetta nel tubo MN, quando una corrente d'aria giunge in esso dal piede P, la linguetta si trova compressa, s'incurva dall'esterno all'interno e lascia libero il passaggio all'aria, la quale sfugge per l'orifizio *o*. Ma la linguetta, tornando indietro per effetto della sua elasticità, compie una serie di oscillazioni, le quali fanno sì che il canaletto si trovi successivamente aperto e chiuso, e che la corrente d'aria alternativamente passi e si fermi, quindi risultano delle vibrazioni che producono un suono la cui altezza cresce colla velocità della corrente.

Nella pivetta che abbiamo descritta, la linguetta oscilla alternativamente all'innanzi ed all'indietro del canaletto senza battere contro i suoi orli: questa sorta di pivetta è una *pivetta libera*. Ma si costruiscono anche delle *pivette battenti*, nelle quali, a ciascuna oscillazione, la linguetta, che è più larga del canaletto, urta contro i suoi orli e quindi non può oscillare che da un lato. La figura 147 rappresenta una pivetta di clarinetto, che appartiene appunto a questa specie: è priva di molla, della quale fa le veci la pressione delle labbra. Lo stesso accade per le pivette del bassone e dell'oboe.

Fig. 147.

220. **Leggi delle vibrazioni dell'aria nei tubi chiusi ad uno dei capi.** — Il caso più semplice dei tubi sonori è quello dei tubi chiusi ad un capo, come una fistola od una chiave forata che si adoperi per fischiare. La colonna d'aria in questi tubi può vibrare intiera o dividersi spontaneamente in parti che vibrano separatamente e all'unisono. Le superficie di separazione delle concamerazioni, che allora si formano, subiscono soltanto can-

giamenti di densità e sono sensibilmente immobili, per lo che si chiamano nodi di vibrazione. Al contrario, le parti di mezzo delle colonne d'aria comprese tra due nodi consecutivi conservano sempre la stessa compressione, ma compiono le più ampie oscillazioni; queste si dicono ventri di vibrazione.

Daniele Bernoulli, celebre geometra, morto nel 1782, fece conoscere, pel primo, le seguenti leggi circa ai suoni prodotti dai tubi sonori.

1.ª Un tubo chiuso ad un capo, munito all'altro di una pivetta e posto in comunicazione col mantice, *dà suoni sempre più acuti di mano in mano che si rinforza il fiato, e, rappresentando con* 1 *il suono il più grave o il fondamentale, si trova che il tubo dà successivamente i suoni* 1, 3, 5, 7, 9.... *rappresentati dalla serie dei numeri dispari.*

2.ª *Per tubi di diverse lunghezze i suoni dello stesso ordine corrispondono a numeri di vibrazioni che sono in ragione inversa delle lunghezze dei tubi.*

3.ª *Le vibrazioni dell'aria nei tubi sono longitudinali* (198) *e la colonna d'aria vibrante è divisa in parti eguali da nodi e da ventri, sempre però in modo che al fondo del tubo corrisponde un nodo e all'imboccatura un ventre.*

4.ª *I nodi e le superficie di separazione delle parti vibranti sono immobili e subiscono soltanto dei cambiamenti di densità, mentre nei ventri, ossia nel mezzo delle parti vibranti, trovasi costante la densità e permanente la vibrazione.*

5.ª *Quando si produce un nodo solo, il tubo dà il suono fondamentale, e la lunghezza dell'onda è eguale al doppio di quella del tubo.*

Quando si produce un nodo solo, questo è sempre al fondo del tubo, e in tal caso trovasi un ventre alla imboccatura. La figura 148 mostra, per mezzo delle freccie, in qual verso si propagano successivanente le ondulazioni dell'aria nel tubo quando vi è soltanto un nodo. Parimenti la figura 149 mostra il moto alternativo dell'aria in ciascuna vibrazione pel caso di due nodi. In allora uno dei nodi è al fondo del tubo, e l'altro ad un terzo della lunghezza partendo dalla estremità aperta. In questo caso adunque la distanza dei due nodi, cioè la lunghezza dell'onda, è due terzi della lunghezza del tubo. Per conseguenza, questa lunghezza dell'onda è 1/3 di quella che si ottiene nel caso di un nodo solo. Ma in quest'ultimo caso il suono era 1, dunque esso è 3 quando si formano due nodi. Parimenti è evidente che quando i nodi sono

3, 4, 5, i suoni devono essere 5, 7, 9, il quale risultato è conforme a quanto fu detto poc' anzi.

221. **Leggi delle vibrazioni dell'aria nei tubi aperti ai due capi.** — Le leggi delle vibrazioni nei tubi aperti ai due capi differiscono dalle già esposte solo per ciò che i *suoni prodotti da uno stesso tubo sono successivamente rappresentati dalla serie dei numeri* 1, 2, 3, 4, 5, 6.... *e che alle estremità dei tubi corrispondono sempre dei ventri.*

Inoltre, *il suono fondamentale di un tubo aperto ai due capi è sempre l'ottava acuta del suono che sarebbe prodotto dallo stesso tubo quando fosse aperto ad un solo estremo.*

Fig. 148

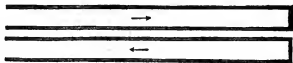



Fig. 149.

Se v'è un nodo solo, esso trovasi al mezzo, e ciascuna metà del tubo contiene una semionda sonora. Quando vi sono due nodi, questi si trovano ad un quarto partendo da ciascuna estremità. Se vi sono tre nodi, essi si trovano al termine di 1, 3 e 5 sesti, e in ogni caso avvi un ventre all'imboccatura ed un altro alla estremità opposta. Sopra questa distribuzione dei nodi e dei ventri è fondato l'uso dei fori che si fanno nelle pareti degli strumenti a fiato, come il flauto ed il clarinetto. Un foro dirimpetto ad un ventre non produce alcun effetto e non modifica punto il suono, mentre dirimpetto ad un nodo fa cangiare il suono, trasformando il nodo in ventre e mutando così la lunghezza della colonna d'aria vibrante.

Per constatare l'esistenza dei nodi nei tubi sonori vi si introduce uno stantuffo mobile, e si osserva, spingendolo a varia profondità, che il suono non prova alterazione veruna quando la base dello stantuffo corrisponde ad una superficie nodale.

L'esistenza dei ventri e dei nodi si dimostra anche col far risuonare un tubo parallelepipedo orizzontale a pareti sottili. Allora le pareti entrano in vibrazione insieme colla colonna d'aria interna, e, coprendole con sabbia, si vede che questa abbandona i luoghi dove sono i ventri e recasi verso i nodi.

Le leggi ora esposte sulle vibrazioni dell'aria nei tubi sonori sono conosciute sotto il nome di *leggi di Bernoulli*. Coll'esperienza non si verificano compiutamente, poichè tanto nei tubi a bocca quanto in quelli a pivetta si ottengono suoni più gravi di quelli indicati dalla teoria. Affinchè queste leggi si accordassero coll'esperienza, bisognerebbe che i tubi avessero sezione infinitamente piccola rispetto alla loro lunghezza; inoltre l'aria dovrebbe esser messa in vibrazione direttamente su tutto il contorno del tubo, e non ad un solo lato come si fa comunemente.

CAPITOLO V.

VIBRAZIONI DELLE VERGHE, DELLE LAMINE, DELLE PIASTRE E DELLE MEMBRANE.

222. *Vibrazioni delle verghe e delle lamine.* — Le verghe e le lamine sottili di legno, di vetro, di metallo e specialmente d'acciaio temperato vibrano per la loro elasticità, ed offrono, come le corde, due sorta di vibrazioni, le une trasversali, le altre longitudinali. Le prime si producono fissando le verghe o le lamine per un loro capo e sfregando con un archetto la parte libera. Le vibrazioni longitudinali in una verga si producono fissandola in un suo punto e sfregandola nel verso della sua lunghezza con una stoffa bagnata o cospersa di colofonia in polvere. In quest'ultimo caso però non si ottiene un suono se non quando il punto fisso della verga si trova alla metà, ad un terzo, ad un quarto, insomma al termine d'una sua parte aliquota.

Si dimostra col calcolo che *il numero delle vibrazioni trasversali delle verghe e delle lamine di egual natura è in ragione diretta della loro grossezza, ed in ragione inversa del quadrato della loro lunghezza.* La larghezza delle lamine non ha influenza sul numero delle vibrazioni ch'esse possono dare, ed influisce soltanto a far variare la forza necessaria per farle vibrare.

Nelle verghe elastiche di egual natura *il numero di vibrazioni longitudinali è in ragione inversa della loro lunghezza, qualunque sia il loro diametro e la forma della loro sezione trasversale.*

La figura 150 rappresenta uno strumento fondato sulle vibrazioni longitudinali delle verghe. Questo strumento, costrutto da Marloye,

consiste in un piedestallo di legno massiccio sul quale sono fissate venti verghe cilindriche di abete, alcune colorate, altre bianche. Le loro lunghezze sono determinate in modo che le verghe bianche danno la solfa diatonica, e le colorate danno i semitoni ohe completano questa solfa e la rendono cromatica. Per suonare con questo strumento si sfregano le verghe nel verso della loro lunghezza tra il pollice e l'indice cospersi

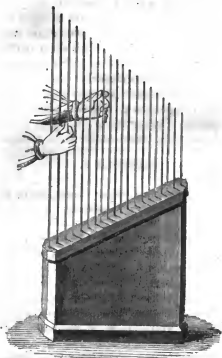



Fig. 150.

di resina in polvere. I suoni che per tal modo si producono hanno molta somiglianza con quelli della fistola.

223. *Vibrazioni delle piastre.* — Allorquando si vuole far vibrare una piastra, la si fissa nel suo centro come dimostra la figura 151, e si fregano i suoi lembi con un archetto; oppure la si ferma in qualche punto della sua superficie, e si scuote presso al suo centro ove trovasi un'apertura, i cui lembi si sfregano con crini coperti di colofonia (fig. 152).

Le piastre in vibrazione presentano delle linee nodali (202) che variano di numero e di posizione a seconda della forma delle piastre, della loro elasticità, del modo di farle vibrare e del numero delle loro vibrazioni. Si rendono visibili le linee nodali coprendo le piastre di un

sottile strato di sabbia prima di farle vibrare. Tosto che incominciano le vibrazioni, la sabbia abbandona le parti vibranti e va a depositarsi sulle linee nodali, come lo mostrano le figure 151 e 152.

La posizione delle linee nodali si determina, per così dire, ad arbi-

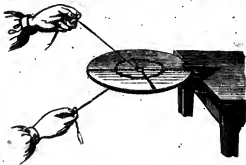



Fig. 151. *Fig* 152.

trio, sfregando in varii modi la piastra. In generale, il numero di queste linee è tanto maggiore quanto più grande è il numero delle vibrazioni, cioè quanto più acuto è il suono che la piastra produce. Le linee nodali presentano sempre figure molto simmetriche; e, per una medesima piastra scossa nelle stesse condizioni, riproduconsi sempre identicamente. Il fenomeno delle linee nodali nelle piastre fu fatto conoscere per la prima volta da Chladni.

Le vibrazioni delle piastre sono soggette alle seguenti leggi: *per piastre della stessa natura, dell'istessa forma e che producono le stesse figure, i numeri delle vibrazioni sono in ragione diretta delle gros-*

Fig. 153.

sezze delle piastre ed in ragione inversa delle loro superficie.

224. *Vibrazioni delle membrane.* — Le membrane, a motivo della loro flessibilità, non possono vibrare se non quando siano tese come

la pelle d'un tamburo. In tal caso danno un suono tanto più acuto quanto più sono tese, e quanto minori sono le loro dimensioni. Per ottenere delle membrane vibranti Savart incollava sopra telai di legno una pellicola assai flessibile.

Le membrane possono vibrare per percussione, come nel tamburo, o per influenza. Infatti, Savart osservò che una membrana può vibrare sotto l'influenza delle vibrazioni dell'aria, qualunque sia il numero di queste vibrazioni, purchè abbastanza intense. La figura 153 rappresenta una membrana che vibra sotto l'influenza di vibrazioni impresse all'aria per mezzo d'una campana. La sabbia fina sparsa sulla membrana mostra la formazione dei ventri e dei nodi come sulle piastre.

CAPITOLO VI.

METODI GRAFICI PER LO STUDIO DEI MOVIMENTI VIBRATORJ

225. *Metodo di Lissajous per rendere apparenti le vibrazioni.* —

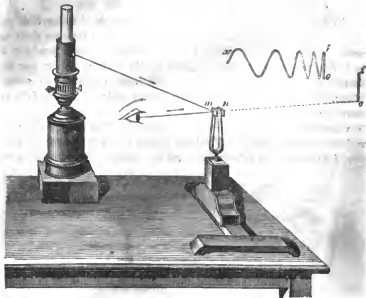



Fig 154.

Studiando nei precedenti paragrafi le vibrazioni delle piastre e delle membrane, abbiamo veduto come si renda apparente il moto vibratorio di queste, spargendovi sopra della sabbia leggiera. Ora, Lissajous adottò recentemente un metodo pel quale non solo si rende visibile il moto vibratorio dei corpi sonori sia direttamente, sia per projezione su di

uno schermo, ma si possono benanche confrontare, *senza il soccorso dell'orecchio*, i moti vibratorj di due corpi sonori in modo da riconoscere l'esatto rapporto delle vibrazioni che essi eseguiscono nello stesso tempo.

Questo metodo, fondato sulla persistenza delle sensazioni visive sulla retina, consiste nel fissare sul corpo vibrante uno specchietto metallico che vibra con esso ed imprime ad un fascio luminoso un moto vibratorio simile a quello dal quale è egli stesso animato.

Lissajous opera con due coristi, e, per renderne visibili i moti, ad uno dei rami fissa uno specchietto di metallo *m* (fig. 154) ed all'altro un contrappeso *n*, perchè il corista possa vibrare a lungo e regolarmente. Lontano alcuni metri dallo specchio avvi una lampada circondata da un tubo opaco nel quale è praticato un forellino, che lascia passare un sottile fascio luminoso. Ciò posto, essendo il corista in riposo, si dispone l'occhio in modo da vedere l'immagine del punto lu-

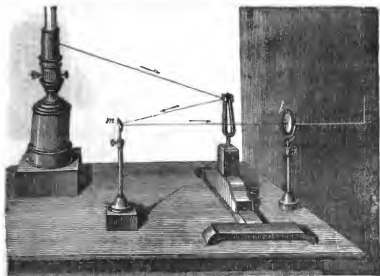



Fig. 155.

minoso in *o*, indi, facendo vibrare il corista, vedesi tosto che l'immagine si allunga nel verso della lunghezza dei rami e dà una immagine persistente *oi*, la quale diventa più piccola mano mano che decresce l'ampiezza delle oscillazioni. Se al moto oscillatorio da cui è animato lo specchio si aggiunge un moto di rotazione, facendo girare il corista intorno al proprio asse, invece di una immagine rettilinea *io*, si ha una immagine sinuosa *oix*. Questi diversi effetti si spiegano cogli spostamenti successivi che imprimono al fascio luminoso riflesso le vibra-

zioni dello specchio, e colla persistenza nell'occhio dell'impressione luminosa dopo che ne è cessata la causa, fenomeno questo di cui ci occuperemo trattando della visione.

Se gli effetti ora descritti, invece di vederli direttamente, si vogliono rendere visibili per projezione su di uno schermo, si dispone l'esperimento come dimostra la figura 156. Il fascio riflesso sullo specchio vibrante si riflette una seconda volta su di uno specchio fisso *m*, che lo rimanda verso una lente acromatica *l*, collocata in modo da formar nettamente su di uno schermo le stesse immagini che si vedono direttamente nell'esperimento rappresentato dalla figura 155.

226. *Composizione ottica di due moti vibratorj di eguale direzione.* — Rese così visibile le vibrazioni dei corpi sonori col dare un vivo splendore ad uno dei punti del corpo vibrante, Lissajous risolvette anche il problema della composizione ottica di due moti vibratorj di eguale direzione e di direzione rettangolare; ed è qui che l'abile fisico giunge a fare coll'occhio i più completi e dotti studj acustici.

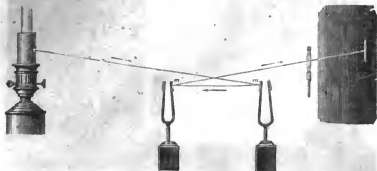



Fig. 156.

Per comporre due moti vibratorj paralleli l'esperimento è disposto come si vede nella figura 156. Essendo posti rimpetto l'uno all'altro due coristi, armati di specchi, la luce riflessa da uno di questi va a colpir l'altro, che è sensibilmente parallelo al primo, e di là è diretta verso uno schermo, dopo di avere attraversata una lente convergente.

Ciò posto, se dapprima si fa vibrare soltanto il primo corista, l'immagine si allunga, come già vedemmo nell'esperimento rappresentato dalla figura 154; ma se si fanno vibrare ambedue, supposti pefettamente all'unisono, l'allungamento aumenta o diminuisce secondo che avvi concordanza o discordanza fra i moti simultanei impressi all'immagine dalle vibrazioni degli specchi. Se i due coristi passano nello stesso tempo e nello stesso verso per la loro forma di equilibrio, l'immagine arriva al suo massimo di grandezza. Se invece vi passano nello stesso tempo, ma in verso contrario, la grandezza dell'immagine tocca

il suo minimo. Fra questi due limiti, l'ampiezza dell'immagine varia col tempo più o meno lungo che scorre fra gli istanti precisi in cui i due coristi passano per la loro forma di equilibrio. Il rapporto fra questo tempo e la durata di una vibrazione doppia venne distinto da Lissajous col nome di *differenza di fase.*

Quando i coristi sono rigorosamente d'accordo, la traccia luminosa projettata sullo schermo non subisce che un progressivo decremento di lunghezza mano mano che diminuisce l'ampiezza delle vibrazioni; ma se l'accordo non è perfetto la grandezza dell'immagine varia periodicamente, e mentre l'orecchio ode i battimenti (215) risultanti dal difetto di accordo, l'occhio vede distintamente le pulsazioni concomitanti dell'immagine.

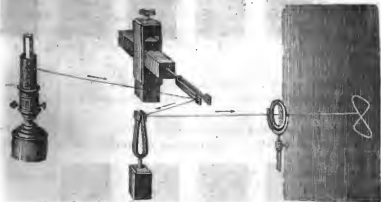
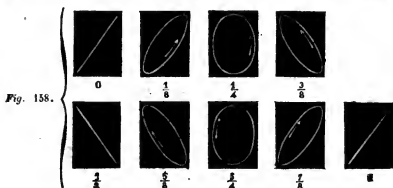



Fig. 157.

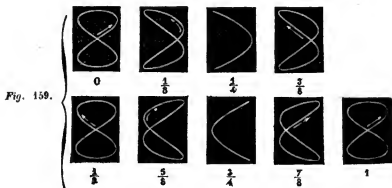
227. *Composizione ottica di due moti vibratorj rettangolari.* — La composizione ottica di due moti vibratorj rettangolari accade come rappresenta la fig. 157, cioè col mezzo di due coristi, uno orizzontale, l'altro verticale ed ambedue armati di specchi come nei precedenti esperimenti. Se si fa vibrare dapprima il solo corista orizzontale, vedesi sullo schermo una traccia luminosa orizzontale; se vibra il solo corista verticale, l'immagine è verticale. Ma se si fanno vibrare simultaneamente i due coristi, i due moti si combinano, ed il fascio riflesso descrive sullo schermo una curva più o meno complicata, la cui forma dipende dal rapporto fra il numero di vibrazioni eseguito nello stesso tempo dai due coristi; ed in tal modo si ottengono preziose indicazioni per confrontare i numeri di vibrazioni di due corpi sonori.

La figura 158 rappresenta le diverse forme che presenta la projezione luminosa sullo schermo, quando i due coristi sono all'unisono, cioè quando i loro numeri di vibrazioni stanno fra loro come 1 sta ad 1.

Le frazioni collocate sotto ciascuna curva indicano le differenze di fasi corrispondenti a ciascuna di esse. La differenza di fase determina la forma iniziale della curva; ma questa conserva esattamente la stessa

Fig. 158.

forma quando i coristi sono d'accordo, però alla condizione che le ampiezze delle due vibrazioni rettangolari decrescano nello stesso rapporto.

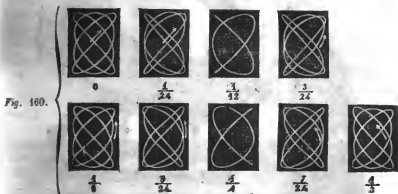
Se i coristi non sono perfettamente d'accordo, la differenza iniziale di fase non si conserva, la curva passa per tutte le sue varietà, e sem-

Fig. 159.

bra oscillare su sè stessa tanto più rapidamente quanto più i coristi sono lontani dall'accordo.

La figura 159 rappresenta i diversi aspetti offerti dall'immagine luminosa quando i coristi sono all'ottava, cioè quando i loro numeri di vibrazioni stanno fra loro come 1 a 2; e la figura 160 dà la serie di curve che si ottengono allorchè i numeri di vibrazioni stanno fra loro come 3 a 4.

Vedesi che le curve sono tanto più complicate quanto più crescono

i due termini del rapporto dei numeri delle vibrazioni. Quanto all'esame teorico di queste curve e dei fenomeni che esse rappresentano, rimandiamo il lettore alla dotta Memoria di Lissajous (*Annali di fisica e di chimica*, anno 1857) ove si troverà il disegno geometrico delle curve delle vibrazioni ed il calcolo della loro equazione generale. Nei diversi esperimenti superiormente descritti abbiamo supposto che si prendesse soltanto per sorgente di luce una lucerna ordinaria; adoperando la luce elettrica, per esempio, l'apparato foto-elettrico di Duboscq, questi fenomeni acquistano una notabile vivacità, ed è questo senza dubbio uno dei più belli esperimenti di fisica, nel quale la luce soc-

Fig. 160.

corre ai fenomeni dell'acustica per disegnare in linee di fuoco delle curve che caratterizzano sì bene le vibrazioni trasversali, longitudinali o giratorie, l'accordo, l'ottava, la terza, la quarta, la quinta, le dissonanze, i battimenti, i suoni risultanti, ecc.

228. *Fonautografo di Leone Scott.* — Duhamel e Wertheim avevano già usato un metodo grafico per misurare il numero delle vibrazioni dei corpi sonori, fissando su questi un filo metallico leggierissimo, il quale, vibrando con essi, tracciasse su di un cilindro ruotante, coperto di nero di fumo, le vibrazioni stesse dei corpi, e ne facesse conoscere il numero durante una rotazione del cilindro. Ma questo metodo non poteva dare le vibrazioni dei tubi sonori, del canto o di un rumore qualunque, per esempio, quelli del tuono o del cannone. Leone Scott ha facilmente generalizzato e perfezionato il metodo grafico nell'apparato al quale diede il nome di *fonautografo*, per esprimere che i suoni si segnano da sè stessi. Quest'apparato, costrutto da Rodolfo Koenig, fabbricatore di strumenti acustici a Parigi, risulta di un ellissoide cavo A B (fig. 161) lungo presso a poco 50 centimetri e largo 30 nel suo diametro massimo. Destinato a condurre e concentrare le onde sonore, è importante che quest'ellissoide sia costrutto con una sostanza poco vibrante, altrimenti indebolirebbe molto il suono; per-

ciò Koenig lo fece di gesso. L'estremità A è aperta, ma l'altra estremità è chiusa da un fondo solido, al centro del quale è adattato un anello sul quale è fissata una membrana flessibile di pellicola o di gomma elastica sottilissima. Un secondo anello, che si avvicina più o meno al primo con una vite, serve a tendere ad arbitrio la membrana, la quale, del resto, non vibra bene all'unisono se non quando è semitesa. Si può far ruotare il tubo *a* sovra sè stesso, in modo che la

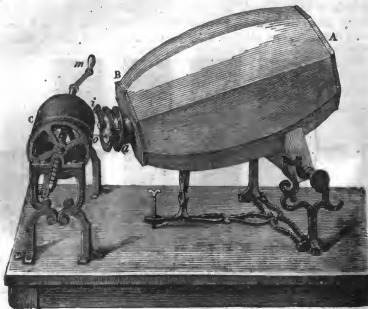



Fig. 161.

membrana possa inclinarsi in tutte le direzioni. Sopra quest' ultima, vicino al centro, è fissato con ceralacca uno stilo *o* leggerissimo e che partecipa a tutti i moti della membrana. Affinchè lo stilo non si trovi in corrispondenza di un nodo di vibrazione, Scott adatta sull'anello tensore della membrana un pezzo mobile *i*, che denomina suddivisore, e che, toccato in questo od in quel punto, ad arbitrio dell' esperimentatore, modifica la posizione dei nodi, in maniera che lo stilo corrisponda ad un ventre, e quindi vibri colla membrana. Vedesi, che in tal modo costrutto, il fonautografo presenta una grande anologia coll'organo dell'udito, corrispondendo l'ellissoide al canale auditivo, la membrana alla membrana del timpano, ed il suddivisore agli ossicini dell' orecchio medio.

Ciò posto, allorchè sia prodotto un suono vicino all'apparato, l'aria contenuta nell'ellissoide, la membrana e lo stilo vibrando all' unisono,

non resta più che di tracciare su di una superficie sensibile le vibrazioni dello stilo e fissarle. Per ciò, davanti alla membrana si pone un cilindro di rame C, che ruota intorno ad un asse orizzontale per mezzo di una manovella *m*; inoltre, durante la sua rotazione, il cilindro si avanza nel verso del suo asse, essendo questo munito di un passo di vite che gira in una chiocciola. La superficie del cilindro è coperta di un foglio di carta, sul quale si depone uno strato di nero di fumo, facendo scorrere sotto di esso, mentre gira, una lampada nella quale abbrucia un liquido che produce fiamma fuligginosa.

Così disposto l'apparato, si mette la superficie coperta di nero di fumo in contatto collo stilo, poi si imprime al cilindro un moto di rotazione più o meno rapido. Finchè non si ode alcun suono, lo stilo non si muove e non fa che staccare col suo strofinio il nero di fumo e mettere allo scoperto la carta tracciando un'elice regolare; ma tosto

Fig. 162.

Fig. 163.

Fig. 164.

Fig. 165.

che si produce un suono qualsiasi, la membrana e lo stilo vibrando all'unisono, la linea tracciata sul foglio di carta diventa ondulata; e ciascuna delle sue ondulazioni corrisponde ad una vibrazione doppia dello stilo, di modo che le figure così ottenute segnano fedelmente il numero, l'ampiezza e l'isocronismo delle vibrazioni. Queste figure sono assai grandi quando il suono è forte, microscopiche se è debolissimo, allontanate quando è grave, stipate se è acuto, di un disegno regolare

e sicuro se la tempera è pura, ineguali e non nette se è cattiva o velata. Nondimeno queste curve non rappresentano semplicemente le vibrazioni della membrana, ma piuttosto il moto risultante di quello della membrana e di quello che prende lo stilo nel verso laterale.

La figura 162 mostra il disegno di un tono semplice cantato, rinforzato dalla sua ottava superiore, il quale secondo suono è rappresentato dalla curva di minore ampiezza.

La figura 163 dà il suono di due tubi sonori all'ottava.

La figura 164, nella sua linea inferiore, rappresenta il trillo della lettera R balbettata, e la figura 165, parimenti nella sua linea inferiore, corrisponde al rumore che fa una lastra di latta battuta con un dito.

Le linee superiori delle figure 164 e 165 sono identiche, e rappresentano le vibrazioni perfettamente isocrone tracciate da un corista collocato vicino all'ellissoide Questo corista, un cui ramo porta uno stilo leggierissimo, fa 500 vibrazioni doppie al minuto secondo, di modo che ogni ondulazione della linea sinuosa superiore corrisponde ad 1/500 di secondo. Da ciò risulta che la curva sinuosa tracciata dal corista diventa un cronometro che misura con grande precisione degli intervalli di tempo estremamente piccoli, come nell'apparato di Duhamel (206). Per esempio, nella figura 164 ciascuno degli urti isolati producenti il trillo della lettera R balbettata corrisponde a 18 vibrazioni doppie del corista e quindi ha una durata di 18/500 di secondo, ossia di circa 1/28.

Le diverse curve una volta tracciate devono essere fissate sulla carta rivestita di nero di fumo. Perciò Scott immerge le sue prove dapprima in un bagno di alcoole puro, poi, quando sono asciutte, in un secondo bagno di alcoole in cui è sciolta una resina, per esempio, della sandracca. Il nero di fumo è allora perfettamente fissato.

LIBRO VI

DEL CALORICO.

CAPITOLO I.

NOZIONI PRELIMINARI; TERMOMETRI.

229. Calorico; ipotesi sulla sua natura. — Si da il nome di *calorico* all'agente che desta in noi la sensazione del calore. Questo agente però opera anche sui corpi inorganici; liquefa il ghiaccio, fa bollir l'acqua, arroventa il ferro.

Sulla causa del calore furono emesse molte opinioni, due delle quali restano ancora nel campo della scienza, cioè il *sistema dell'emissione* e quello *delle ondulazioni.*

Nel primo di questi sistemi si ammette che la causa del calore sia un fluido materiale, imponderabile (*calorico*), il quale possa passare da un corpo all'altro e le cui molecole siano in istato di continua ripulsione. Questo fluido si troverebbe in tutti i corpi combinato colle loro molecole, delle quali impedirebbe l'immediato contatto.

Nel sistema delle ondulazioni si ammette che il calore è prodotto da un movimento vibratorio delle molecole dei corpi caldi, il quale si trasmette alle molecole degli altri corpi per mezzo di un fluido sommamente sottile ed elastico denominato *etere,* in cui si propaga pressochè alla stessa guisa delle onde sonore nell'aria. In questo sistema i corpi più caldi sarebbero quelli le cui vibrazioni hanno maggiore ampiezza e celerità, ed il calore non sarebbe altro che la risultante delle vibrazioni delle molecole. Nella prima ipotesi le molecole dei corpi che si raffreddano perdono del calorico; nella seconda non fanno che una perdita di moto.

Dopo i progressi della fisica moderna la teoria delle ondulazioni pare la sola ammissibile. Nondimeno la teoria della emissione, siccome quella che semplifica le dimostrazioni, è generalmente preferita per la esposizione dei fenomeni del calore.

230. **Effetti generali del calorico.** — L'azione generale del calorico sui corpi consiste nello sviluppare tra le loro molecole una forza ripulsiva che lotta continuamente coll'attrazione molecolare; d'onde risulta che, sotto l'influenza di questo agente, i corpi dapprima tendono a *dilatarsi*, cioè ad assumere un volume maggiore, poi a *cangiare di stato*, cioè a passare dallo stato solido al liquido, o dallo stato liquido a quello di fluido aeriforme.

Fig. 166 ($l = 50$).

Fig. 167.

Tutti i corpi si dilatano per effetto del calorico. I più dilatabili sono i gas, poi vengono i liquidi, indi i solidi. In questi ultimi si distingue la dilazione *lineare*, cioè secondo una sola dimensione e la dilatazione *cubica*, ossia in volume. Queste dilatazioni però sono sempre simultanee. Nei liquidi e nei gas non si considerano che le dilatazioni in volume.

Per dimostrare la dilatazione lineare dei metalli si fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 166. Un'asta metallica A è tenuta fissa ad un suo estremo per mezzo di una vite di pressione B, mentre l'altro capo libero è in contatto col braccio minore di un indice K mo-

bile sopra una mostra. Al disotto dell'asta v'è un serbatojo cilindrico in cui s'accende dell'alcoole. A principio l'indice K si trova allo zero della graduazione, ma di mano in mano che l'asta A si riscalda, si vede l'indice ascendere; questo moto rende sensibile l'allungamento dell'asta.

La dilatazione cubica si dimostra col mezzo dell'anello di *S' Gravezande*. È un piccolo anello metallico *m* (fig. 167), entro il quale, alla temperatura ordinaria, passa liberamente una sfera di rame *a*, di diametro quasi eguale a quello dell'anello. Ma questa stessa sfera, scaldata alla fiamma d'una lampada ad alcoole, non può più passare attraverso all'anello, il che dimostra l'incremento del suo volume.

Per constatare la dilatazione dei liquidi, si salda ad un piccolo globo di vetro un tubo capillare (fig. 168); indi, empito il globo e parte del tubo d'un liquido qualunque, si rileva che, scaldando l'apparato, il liquido ascende pel tubo, per esempio da *a* a *b*, e che la dilatazione così osservata è molto maggiore di quella che si riscontra nei solidi.

Lo stesso apparato può servire a mostrare la dilatazione dei gas. A tale effetto si empie il globo di aria o di qualsiasi altro gas, e si introduce nel tubo un indice di mercurio lungo da 2 a 3 centimetri. Allorchè si scalda il globo col solo avvicinargli la mano, l'indice è spinto verso l'estremità del tubo e finisce coll'esserne espulso; d'onde si conchiude che anche per un piccolo aumento di calore i gas si dilatano assai.

Fig. 168.

In queste diverse esperienze si può constatare che nel raffreddarsi i corpi si restringono, e ripigliano il loro volume primitivo ogniqualvolta il calore è ridotto al primitivo grado.

MISURA DELLE TEMPERATURE.

231. **Temperatura.** — La *temperatura* d'un corpo è lo stato attuale del calorico sensibile e permanente in questo corpo senza aumento nè diminuzione. Se la quantità di calorico sensibile aumenta o scema, si dice che la temperatura si innalza o si abbassa.

232. **Termometri.** — Si chiamano *termometri* certi

strumenti che servono a misurare le temperature ed a valutarne le variazioni.

Non permettendoci l'imperfezione dei nostri sensi di misurare la temperatura dei corpi dietro le sensazioni più o meno vive di caldo o di freddo ch'essi eccitano in noi, si dovette ricorrere agli effetti fisici che il calorico produce nei corpi. Questi effetti sono di varie sorta; ma si prescelsero le dilatazioni e le contrazioni perchè più facili ad essere osservate. Il calorico però produce nei corpi anche dei fenomeni elettrici, per mezzo dei quali si possono misurare le temperature. A suo luogo descriveremo un termometro assai sensibile fondato sopra questo principio. Siccome i solidi non sono che pochissimo dilatabili, i liquidi sono i corpi della cui dilatazione si trae profitto nei termometri. Nondimeno i fisici si servono anche della dilatazione dei gas in uno strumento conosciuto sotto il nome di *termometro ad aria* e che descriveremo dopo di aver fatta conoscere la dilatazione dei gas (272). Per ora non tratteremo che dei termometri a liquidi. Fra questi corpi si adottano esclusivamente il mercurio e l'alcoole; il primo perchè è di tutti i liquidi quello che si dilata più regolarmente, perchè non va in ebollizione se non a temperatura molto alta, e, finalmente, perchè vincendo di lunga mano gli altri liquidi nella facoltà di condurre il calorico, i termometri fatti col mercurio si mettono assai più presto in equilibrio di temperatura che non quelli fatti con qualsiasi altro liquido. L'uso del termometro ad alcoole è fondato sulla proprietà che possiede questa sostanza di conservarsi liquida alle più basse temperature che si poterono finora conseguire.

L'invenzione dei termometri data dalla fine del secolo XVI, e si attribuisce da taluni a Galileo, da altri a Drebbel, medico olandese, od a Santorio, medico veneziano.

Il termometro a mercurio è quello che si usa più comunemente. Esso è formato da un tubo capillare di vetro o di cristallo saldato ad un serbatoio cilindrico o sferico dell'istessa sostanza. Il serbatoio ed una parte del tubo sono empiti di mercurio, ed una scala graduata sul medesimo tubo, o sopra un regolo parallelo ad esso, serve a far conoscere la dilatazione del liquido (fig. 173, pag. 236).

La costruzione del termometro, dopo saldata al serbatoio l'asta col mezzo d'una lampada da smaltatore, richiede tre operazioni, cioè la divisione del tubo in parti di eguale capacità, l'introduzione del mercurio nel serbatoio e la graduazione.

233. Divisione del tubo in parti di eguale capacità. — Siccome le indicazioni del termometro non sono esatte se non quando le divisioni della scala posta sul tubo corrispondono a dilatazioni eguali del mercurio che trovasi nel serbatoio, così conviene che la scala sia graduata in modo di indicare nell'interno del tubo capacità eguali. Se il tubo fosse perfettamente cilindrico e di diametro costante, per ottenere queste eguali capacità basterebbe dividere la lunghezza del tubo in parti eguali. Ma siccome i diametri dei tubi di vetro sono in generale maggiori ad un estremo che all'altro, ne segue che ad eguali capacità del tubo corrispondono sulla scala lunghezze diseguali, che trattasi qui di determinare.

Per ciò, prima di saldare il tubo al serbatoio vi si introduce una colonna di mercurio della lunghezza di 2 o 3 centimetri che si procura di mantenere ad una temperatura costante, e la si fa scorrere nel tubo in modo che ad ogni spostamento si avanzi di una quantità precisamente eguale alla sua lunghezza; cioè che uno degli estremi della colonna venga successivamente a prendere il posto dell'altro. Un regolo diviso in millimetri, sul quale si applica il tubo dopo ciascuno spostamento, serve a determinare la lunghezza della colonna di mercurio a meno di un decimo di millimetro. Quando questa lunghezza rimanga invariata, se ne deduce che il diametro interno del tubo è dappertutto lo stesso; quando invece non sia costante, si riconosce che le sezioni interne del tubo non sono tutte eguali. Se in tal prova si osserva che la lunghezza della colonna di mercurio subisce variazioni di parecchi millimetri, si rigetta il tubo e se ne cerca uno più regolare. Ma se queste variazioni sono meno grandi, si fissa lungo il tubo una lista di carta, e colla matita si fa un segno dirimpetto a ciascuno dei punti occupati successivamente dagli estremi della colonna di mercurio.

Le divisioni così effettuate indicano necessariamente capacità eguali, poichè corrispondono ad uno stesso volume di mercurio. Siccome gli intervalli fra queste divisioni sono abbastanza piccoli perchè si possa ritenere come costante il diametro del tubo in ciascuno di essi, si passa a divisioni più piccole col ripartire gli intervalli medesimi in un certo numero di parti eguali, il che si ottiene, come si è già detto, colla macchina di divisione (13).

Fra poco si vedrà come questa divisione serva a fare una esatta graduazione della scala.

234. Riempimento del termometro. — Per introdurre nel termometro il mercurio, si salda all'estremità superiore del tubo un serbatoio C (fig. 169), il quale si empie di mercurio; poi, inclinato alquanto il tubo, si fa dilatare l'aria contenuta nel serbatoio, scaldando quest'ultimo con una lampada ad alcoole, o collocandolo sopra una grata inclinata e circondandolo di carboni accesi. L'aria dilatata esce in parte dall'imbuto C. Se allora si lascia raffreddare il tubo e lo si mantiene in posizione verticale, l'aria che ancora vi rimane si contrae, e la pressione atmosferica spinge il mercurio nel serbatoio D, quantunque il tubo sia capillare. Ma il mercurio cessa di entrare nel serbatoio quando l'aria in esso contenuta ha riacquistata per la diminuizione di volume, una tensione capace di far equilibrio al peso dell' atmosfera ed a quello della colonna di mercurio che trovasi nel tubo. Scaldando allora di nuovo l'apparato e lasciandolo poscia raffreddare, entra una nuova quantità di mercurio, e così di seguito fino a che non rimanga nel serbatoio D se non un piccolissimo volume d'aria. Per discacciare questo residuo d'aria, si scalda, fino alla ebollizione, il mercurio contenuto nel serbotoio. I vapori di mercurio, svolgendosi, trascinano seco l'aria e l'umidità che si trovano nel tubo e nel serbatoio.

Fig. 169.

Quando lo strumento è in tal modo riempito di mercurio secco e puro, si toglie l'imbuto C, poi si chiude il tubo fondendone l'estremità alla lampada. Ma si ha cura di scaldare dapprima il serbatoio D in modo di scacciare la metà od i due terzi del mercurio che trovasi nel tubo; altrimenti questo liquido non potrebbe dilatarsi senza rompere il termometro. La quantità di mercurio che si deve espellere dal tubo è tanto maggiore quanto più elevate sono le temperature che lo strumento è destinato a misurare. Si ha inoltre l'avvertenza, al momento in cui si chiude il tubo, di scaldare il serbatoio D in modo che il

liquido dilatato salga alla sommità del tubo. Per tal guisa il termometro è affatto scevro d'aria, come si richiede, perchè altrimenti questo fluido, compresso quando si eleva il mercurio, potrebbe frangere il tubo.

235. **Graduazione del termometro, punti fissi della sua scala.** — Dopo avere empito il termometro nel modo qui sopra esposto, rimane a farne la graduazione, cioè a segnare sull'asta una scala per mezzo della quale si possano valutare le variazioni di temperatura. Perciò si dovettero assumere sull'asta due punti fissi che corrispondessero a temperature sempre identiche e che facilmente potessero essere sempre riprodotte.

Ora, l'esperienza ha mostrato che la temperatura della fusione del ghiaccio è sempre la stessa, qualunque sia la sorgente di calore, e che l'acqua distillata, sotto una stessa pressione ed in un vase di una stessa sostanza, entra in ebollizione sempre alla stessa temperatura. Per conseguenza si è assunto per primo punto fisso, cioè per lo zero della scala, la temperatura del ghiaccio fondentesi, e per secondo punto fisso, che si indica con 100, la temperatura della ebollizione dell'acqua distillata, in un vase di metallo, sotto la pressione atmosferica di $0^m,76$.

Pertanto la graduazione del termometro comprende tre operazioni: la determinazione dello zero, quella del punto 100 e la divisione della scala.

236. *Determinazione dello zero.* — Per trovare lo zero si empie di ghiaccio frantumato o di neve un vase il cui fondo è forato perchè possa effluire l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio (fig. 170). Si lascia immerso il serbatoio del termometro ed una parte del tubo in questo ghiaccio per circa un quarto d'ora. La colonna mercuriale si abbassa sulle prime rapidamente, poi rimane stazionaria. Allora, al punto cui corrisponde il livello del mercurio, si fa un segno sopra una piccola lista di carta fissata previamente sul tubo, ed ivi si colloca lo zero.

Fig. 170 ($a = 32$).

237. *Determinazione del punto* 100. — Il secondo punto fisso si determina col mezzo dell'apparecchio rappre-

sentato nelle figure 171 e 172, la seconda delle quali ne mostra una sezione longitudinale. In ambedue le figure le stesse lettere indicano le stessi parti. L'apparato è tutto di rame. Su di un vase cilindrico M, che contiene dell'acqua, è fissata una tubulatura centrale A aperta alle due estremità e contenuta in un'altra tubulatura B che le è concentrica. Quest'ultima, fissata anch'essa sullo stesso vase e chiusa alle due estremità, è munita di tre tubulature *a*, E, D: nella prima avvi un turacciolo entro

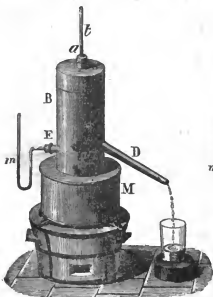
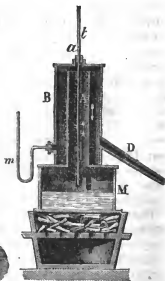



Fig. 171. *Fig.* 172.

il quale passa l'asta *t* del termometro su cui vuolsi determinare il punto 100; alla seconda è adattato un piccolo tubo di vetro *m* che contiene del mercurio e serve di manometro per misurare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato; finalmente, la terza tubulatura D serve all'uscita del vapore e dell'acqua proveniente dalla condensazione di quest'ultimo.

Posto l'apparato sul fornello e riscaldato sino alla temperatura dell'ebollizione dell'acqua, il vapore che si produce nel vase M sale nel tubo A e passa fra questo e il tubo B, come mostrano le freccie, giungendo sino alla tu-

bulatura D, per la quale effluisce nell'atmosfera. Trovandosi allora il termometro t circondato dal vapore, il mercurio in esso contenuto si dilata; quando cessa di dilatarsi si fa un segno al punto a ove si ferma, e questo è il punto 100 cercato. La tubulatura B fu aggiunta da Regnault all'apparato ora descritto per impedire che la tubulatura centrale si raffreddi pel contatto dell'aria.

Si potrebbe credere che la determinazione del punto 100 della scala termometrica richieda che l'altezza del barometro durante l'esperimento sia $0^m,76$; giacchè si vedrà fra poco che quando quest'altezza è maggiore o minore di $0^m,76$ non solo l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura rispettivamente superiore od inferiore a 100 gradi, ma anche la temperatura del vapore trovasi aumentata o diminuita di una quantità eguale. Nondimeno, si può ottenere esattamente il punto 100 qualunque sia la pressione atmosferica, facendo la correzione indicata da Biot. Questo scienziato riconobbe che quando il mercurio nel barometro si innalza o si abbassa di 27 millimetri, la temperatura dell'ebollizione si eleva o discende di un grado, cioè di $^1/_{27}$ di grado per ogni millimetro. Per conseguenza, se l'altezza barometrica è, per esempio, 769 millimetri, all'istante in cui si prende il punto 100, l'eccesso di pressione al di sopra di 760 essendo di 9 millimetri, il numero di gradi corrispondente alla sommità della colonna mercuriale nel termometro non è 100 ma

$$100 + {}^1/_{27} \times 9 = 100 + {}^1/_3.$$

Dunque in tal caso si dovrà segnare 100 e $^2/_3$ al punto ove si ferma il mercurio.

Siccome Gay-Lussac osservò che l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura un po'più elevata in un vase di vetro che in uno di metallo, ed inoltre che la temperatura della ebollizione si innalza quando l'acqua tiene in soluzione dei sali, così si era ammesso fino a questi ultimi tempi che per determinare il punto 100 dei termometri bisognava impiegare un vase di metallo ed acqua distillata. Ma è inutile l'avere riguardo a queste ultime due condizioni dopo la scoperta di Rudberg, fisico svedese. Infatti, questo scienziato riconobbe che la natura del vase ed i sali sciolti influiscono bensì sulla temperatura dell'ebollizione dell'acqua, ma *non sulla temperatura del vapore che si produce.* Cioè, sebbene l'acqua per l'una o per

l'altra delle due cause ora menzionate sia al di sopra di 100 gradi, nondimeno il vapore che se ne svolge è a 100 gradi, quando la pressione sia di $0^{m},76$.

Quindi, per determinare il secondo punto fisso del termometro, non è necessario adoperare nè acqua distillata nè un vase di metallo. Basta che il termometro s'immerga per intiero nel vapore e non nell'acqua calda, e che la pressione sia di $0^{m},76$ o ne sia fatta la correzione sopra esposta.

Del resto, anche usando di acqua distillata non si deve immergere il serbatojo del termometro nell'acqua bollente, perchè la sola di lei superficie trovasi effettivamente a 100 gradi, mentre la temperatura cresce di mano in mano dall'alto in basso a motivo dell'aumento di pressione.

238. *Costruzione della scala.* Ottenuti i due punti fissi, si divide l'intervallo compreso tra questi in 100 parti di eguale capacità, che si chiamano *gradi*, e si continuano queste divisioni al di sopra del punto 100 e al disotto dello zero, segnandole su di una tavoletta di legno o di metallo alla quale è fissato il termometro (fig. 173).

Per segnare i gradi basterebbe dividere in 100 parti eguali l'intervallo da 0 a 100, qualora il tubo avesse dappertutto il medesimo diametro: ma siccome questa condizione ben di rado è precisamente soddisfatta, bisogna far uso delle divisioni in parti di eguale capacità già dapprima segnate sul tubo (233). Per ciò, si conta il numero di queste parti comprese tra i due punti fissi, e, dividendo questo numero per 100, si ottiene il numero di parti che corrisponde ad un grado d'onde si deduce successivamente la posizione di ciascuna divisione in gradi partendo dallo zero. Il termometro così graduato è il *termometro centigrado*.

Nei termometri di precisione la scala è graduata sul vetro stesso dell'asta (fig. 174). Per tal modo essa non si può spostare, e la sua lunghezza ri-

Fig. 173. Fig. 174

mane sensibilmente costante perchè il vetro è pochissimo dilatabile. In questo caso, per ottenere sul vetro delle tracce permanenti, si copre a caldo con un sottile strato di vernice l'asta termometrica, indi con una punta d'acciajo si segnano sulla vernice le divisioni della scala e le cifre corrispondenti; finalmente, si espone l'asta per circa 10 minuti ai vapori dell'acido fluoridrico, il quale, per la sua proprietà d'intaccare il vetro, vi incide i segni in tutti i luoghi ove la vernice è stata levata.

I gradi si dinotano con uno zero collocato a destra del numero che indica la temperatura, ed alquanto in alto. Finalmente, per contraddistinguere le temperature al di sotto dello zero da quelle che sono al di sopra, si premette ad esse il segno — (*meno*). Adunque 15 gradi al di sotto di zero si indicano con — 15.°

139. **Differenti scale termometriche.** — Nella graduazione dei termometri si distinguono tre scale: la scala centigrada o centesimale, la scala di Réaumur e la scala di Fahrenheit.

La *scala centigrada*, usata generalmente in Francia, è quella di cui poc'anzi abbiamo esposta la costruzione. Essa è dovuta a Celsio, fisico svedese, morto nel 1744.

Nella seconda scala, adottata nel 1731 da Réaumur, fisico francese, i due punti fissi sono ancòra la temperatura del ghiaccio fondentesi e quella dell'acqua bollente; ma il loro intervallo si divide in 80 gradi. Epperò 80 gradi di Reaumur equivalgono a 100 gradi centesimali: quindi 1 grado **R** è eguale $^{100}/_{80}$, o $^{5}/_{4}$ di grado *c.*, e, reciprocamente, 1 grado *c.*, è eguale a $^{80}/_{100}$, o $^{4}/_{5}$ R. Per ciò, onde ridurre un numero di gradi R. in gradi *c.*, per esempio, 20 gradi, bisogna moltiplicare questo numero per $^{5}/_{4}$; perchè, siccome un grado R. è eguale a $^{5}/_{4}$ di grado *c.*, 30 gradi R. corrispondono in gradi *c.*, a 20 volte $^{5}/_{4}$, ossia a 25. Si vedrà del pari che, per convertire dei gradi *c.*, in gradi R., bisogna moltiplicarli per $^{4}/_{5}$.

Fahrenheit, fisico di Danzica, nel 1714, adottò una scala termometrica il cui uso si estese di poi in Olanda, in Inghilterra e nell'America settentrionale. Il punto fisso superiore di questa scala corrisponde ancora alla temperatura dell'acqua bollente; ma lo zero corrisponde al grado di freddo che si ottiene mescolando pesi eguali di neve e di sale ammoniaco triturato, e l'intervallo tra questi due punti è diviso in 212 gradi. Il termometro di Fahrenheit posto nel ghiaccio fondentesi segna 32°, d'onde risulta

che 100 gradi centesimali equivalgono a 212° meno 32°, cioè a 180° di Fahrenheit; quindi 1 grado c. è eguale a $^{180}/_{100}$ o $^{9}/_{5}$ di grado F., e, reciprocamente, 1 grado F. è eguale a $^{100}/_{180}$ o $^{5}/_{9}$ di grado *c.*

Ciò posto, abbiasi a convertire in gradi centesimali un numero di gradi di Fahrenheit maggiore di 32, per esempio 95. Per contare i gradi di ambe le specie partendo da uno stesso punto della scala, cioè dallo zero centigrado, si incomincia a sottrarre 32 dal numero dato, onde si ha per residuo 63; ora, siccome 1 grado F. vale $^{5}/_{9}$ di grado *c.*, 53 gradi F. eguagliano $^{5}/_{9} \times 53$, ovvero 36 gradi *c.*

Rappresentando con t_f la temperatura data in gradi di Fahrenheit, e con t_c la temperatura corrispondente in gradi centesimali, si ha la formola

$$t_c = (t_f - 32)\frac{5}{9} \quad (1),$$

la quale indica i calcoli che bisogna eseguire per fare la conversione; e siccome da questa eguaglianza si deduce

$$t_f = t_c \times \frac{9}{5} + 32 \quad (2),$$

si ha una seconda formola, la quale serve a convertire i gradi centesimali in gradi di Fahrenheit.

Queste formole sono generali e si applicano a tutte le temperature al di sopra e al di sotto degli zeri delle scale che vogliónsi confrontare; solchè bisogna tener conto dei segni di t_f e di t_c. Per esempio, sia proposto di trovare quale sia la temperatura in gradi centesimali quando il termometro di Fahrenheit segna 5°: dalla formola (1) abbiamo:

$$t_c = (5-32)\frac{5}{9} = \frac{57 \times 5}{9} = -15^{\circ}.$$

Parimenti, se il termometro centigrado segna — 15 la formola (2) ci dà:

$$t_f = -15 \times \frac{9}{5} + 32 = -27 + 32 = 5^{\circ}.$$

240. **Spostamento dello zero.** I termometri, sebbene costrutti colla massima accuratezza, vanno soggetti ad una causa di errore della quale importa tener conto; ed è che il loro zero tende col tempo ad innalzarsi, in modo che lo spostamento arriva talvolta sino a due gradi:

difatti, immergendo nel ghiaccio fondentesi un termometro graduato da qualche tempo, si osserva che il mercurio non discende più allo zero della scala.

Di questo fenomeno si diedero varie spiegazioni, nessuna delle quali soddisfa compiutamente. Così, si volle attribuirlo ad una diminuzione di capacità del serbatojo prodotta dalla pressione esteriore, perchè il termometro non contiene aria; ma si è osservato che varii termometri contenenti dell'aria si alterano come quelli che ne sono vuoti.

Si è detto, che il vetro, dopo soffiata la bolla, non ritorna che lentamente allo stato di aggregazione primitiva, appoggiando l'asserzione ad un fatto che credevasi di aver notato, che cioè in capo a due o tre anni lo zero non si spostava più. Ma, dietro le esperienze di Despretz, questo spostamento sembra che continui per un tempo forse indefinito.

Oltre lo spostamento lentissimo, di cui si è qui fatta menzione, si osservano delle rapide variazioni nella posizione dello zero ogni volta che il termometro è stato portato a temperatura alquanto elevata. Infatti, collocando allora lo strumento nel ghiaccio fondentesi, il mercurio non discende allo zero della scala, nè vi ritorna se non dopo un certo tempo.

Adunque, allorchè si tratta di misurare con precisione una temperatura, conviene verificare dapprima la posizione dello zero del termometro che si vuole adoperare.

141. **Limiti dell'uso del termometro a mercurio.** — Il mercurio bolle a 350 gradi e si solidifica a — 40. Ecco i due limiti che non si possono oltrepassare nell'uso del termometro a mercurio. Siccome poi l'esperienza insegnò che la dilatazione del mercurio non è *regolare*, ossia proporzionale alla intensità del calore, che da — 36 a 100 gradi, e che, al di là, il suo coefficiente di dilatazione va sempre crescendo da 100 a 350 gradi, così sappiamo che il termometro a mercurio non dà realmente indicazioni precise che da — 36 a 100 gradi; a temperature più elevate le sue indicazioni non sono che approssimative, poichè l'errore può ascendere a parecchi gradi.

Del resto accade spesso che due termometri a mercurio, i quali si accordino a zero ed a 100 gradi non concordino in punti intermedii, sebbene si trovino nelle stesse condizioni. Questa differenza dipende da ciò che, i vetri variando nella chimica loro composizione, non sono

egualmente dilatabili. Epperciò, siccome la dilatazione che si osserva nei termometri è *apparente* (260), vale a dire che è l'eccesso della dilatazione assoluta del mercurio su quella del vetro, così ogni qualvolta due termometri non siano formati di un vetro identico incontriamo una causa di errore, per ciò che essi non si accordano, il qual fatto si esprime dicendo che non sono *comparabili.*

Queste diverse osservazioni e quelle che vennero fatte nel paragrafo precedente mostrano quante cause d'errore s' incontrino nella determinazione delle temperature e quali cautele essa richieda.

242. **Condizioni di sensibilità**. — La sensibilità di un termometro può essere considerata sotto due punti di vista. Difatti un termometro è *sensibile:* 1.° quando dà indizio di piccolissime variazioni di temperatura; 2.° quando si pone prontamente in equilibrio di temperatura coi corpi ambienti.

Si ottiene il primo genere di sensibilità adoperando un' asta assai sottile ed un serbatojo di una certa capacità. In tal caso il cammino del mercurio nell'asta è limitato ad un piccolo numero di gradi, per esempio da 10 a 20, o da 20 a 30, e siccome ciascun grado occupa una grande lunghezza sull'asta, così abbiamo il mezzo di valutare piccolissime frazioni di grado. Sotto il nome di *termometro metastatico* Walferdin costruì un termometro con cui si possono valutare i millesimi di grado.

Il secondo genere di sensibilità si conseguisce dando al termometro un piccolissimo serbatojo, poichè quanto minore è la sua massa e tanto più rapidamente si pone in equilibrio di temperatura col mezzo nel quale venga collocato.

243. **Termometro ad alcoole**. — Il *termometro ad alcoole* non differisce dal termometro a mercurio se non perchè è riempito di alcoole colorato in rosso con oricello. Ma siccome la dilatazione dei liquidi è tanto meno regolare quanto più essi sono vicini al loro punto di ebollizione, l'alcoole, che bolle a 78°, si dilata molto irregolarmente tra 0° e 100°. Adunque se si costruisse un termometro ad alcoole, confrontandolo con uno a mercurio alle temperature 0° e 78°, e si dividesse la distanza di questi punti in 78 gradi, si avrebbe uno strumento concordante col termometro a mercurio soltanto a 0° ed a 78°; nei punti intermedii esso sarebbe in addietro di parecchi gradi, anzi, come fu constatato, segnerebbe soltanto 46° quando il termometro a mercurio ne indica 50.

Per ciò la graduazione del termometro ad alcoole si deve fare confrontandolo con un termometro campione a mercurio, scaldandoli gradatamente in un bagno e segnando successivamente sul termometro ad alcoole le temperature indicate dal termometro a mercurio. Il termometro ad alcoole così graduato è *comparabile* al termometro a mercurio, cioè segna le stesse temperature quando è posto nelle stesse circostanze. Il termometro ad alcoole è adoperato principalmente per misurare le temperature molto basse, perchè questo liquido non si congela al freddo più intenso che si sappia produrre.

Il riempimento del termometro ad alcoole, in conseguenza della temperatura poco elevata alla quale questo liquido va in ebollizione, si effettua più semplicemente che non quello del termometro a mercurio. Infatti, dopo di aver fatto riscaldare leggiermente il serbatojo alla lampada per farne uscire un po' d'aria, si immerge l'estremità aperta dell'asta nell'alcoole colorato in rosso; in conseguenza del raffreddamento l'aria che rimane nel serbatoio diminuisce di volume, e la pressione atmosferica vi fa salire una piccola quantità di alcoole. Riscaldando allora sino alla ebollizione, i vapori d'alcoole che si sviluppano in copia strascinano seco tutta l'aria, che si trova nel serbatoio e nell'asta. Per ciò, dopo qualche istante di ebollizione, basta capovolgere rapidamente il termometro ed immergerne di nuovo l'estremità nell'alcoole. Condensandosi i vapori, si forma un vuoto nell'interno, e, in conseguenza della pressione atmosferica, il serbatojo e l'asta si riempiono completamente. Finalmente, facendo uscire una certa quantità di liquido dall'asta, si chiude questa fondendone l'estremità alla lampada ed il termometro è fatto. Più non resta che graduarlo nel modo sopra indicato.

244. **Termometro differenziale di Leslie.** — Leslie, fisico scozzese, morto nel 1832, costrusse un termometro ad aria destinato a far conoscere la differenza di temperatura di due luoghi vicini, d'onde il nome di *termometro differenziale.* Questo strumento è composto di due globi di vetro pieni d'aria, comunicanti mediante un tubo ripiegato, di piccolo diametro e fermato sopra una tavoletta (fig. 175). Prima di chiudere lo strumento vi si introduce un liquido colorato, in tale quantità che basti ad empire il ramo orizzontale del tubo e la metà all'incirca di ciascuno dei rami verticali. Conviene scegliere un

liquido che non dia vapori alle temperature ordinarie; per ciò comunemente si adopera l'acido solforico colorato in rosso. Chiuso indi lo strumento, si fa passare porzione dell'aria da un globo nell'altro, scaldandoli disegualmente, fino a tanto che, dopo alcuni tentativi, ritornati i due globi alla stessa temperatura, il liquido si trovi allo stesso livello nei due rami verticali. Allora si segna uno zero a ciascuna delle estremità della colonna liquida. Per compiere la graduazione si scalda uno dei due globi ad una temperatura che superi di 10 gradi quella dell'altro. L'aria del primo globo si dilata e respinge la colonna liquida, la quale s'innalza nell'altro ramo. Quando questa colonna si è resa di nuovo stazionaria, si segna 10 su

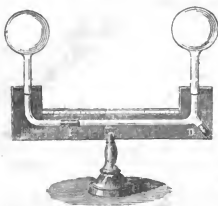
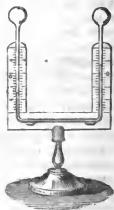



Fig. 175. (n = 43). *Fig.* 176

ciascuno dei rami al luogo in cui si ferma il livello del liquido; poi si dividono gli intervalli da 0 a 10 in dieci parti eguali, e si continuano le divisioni su ciascuno dei rami.

245. **Termoscopio di Rumford.** — Mentre Leslie inventava il termometro differenziale, il conte di Rumford, americano, morto nel 1814 a Auteuil, presso Parigi, proponeva un termometro analogo e che ha ricevuto il nome di *termoscopio di Rumford.* Questo strumento differisce poco dal precedente; solchè i suoi globi sono più grandi, il ramo orizzontale è più lungo e la graduazione si trova lunghesso questo ramo. L'indice I (fig. 176) ha soltanto due centimetri all'incirca di lunghezza, e si segna qui pure zero ad ognuno de' suoi estremi quando, verifican-

dosi che i due globi hanno la stessa temperatura, l'indice occupi il mezzo del ramo orizzontale.

Il resto della graduazione si effettua precisamente come pel termometro di Leslie. L' appendice D è destinata a rettificare lo strumento. Quando sovrabbondi l'aria in uno dei globi, si fa passare l'indice nell'appendice e così l'aria può recarsi nell'altro globo. Basta in seguito inclinare il termometro per far escire l'indice e fargli prendere la posizione che deve occupare, il quale risultato però non si ottiene che dopo varie prove.

246. Termometro metallico di Breguet. — Abramo Breguet, orologiajo di Parigi, morto nel 1823, immaginò un termometro fondato sulla ineguale dilatabilità dei metalli, e che è notabile per la sua somma sensibilità. Questo strumento è costrutto con tre lamine sovrapposte una di platino, l'altra d'oro e la terza d'argento, saldate insieme in tutta la loro lunghezza, indi compresse sotto il laminatojo in modo di formare un solo nastro metallico sottilissimo. Si avvolge questo nastro a spira, come mostra la fig. 177, indi, fissato l'estremo superiore ad un sostegno, si appende all'altro estremo un leggiero indice, che può muoversi liberamente sopra una mostra orizzontale alla cui periferia avvi una scala centigrada.

Fig. 177.

L'argento, che è il più dilatabile dei tre metalli, trovasi alla superficie interna della spira, ed il platino, che è il meno dilatabile, all'esterna; l'oro è interposto. Quando cresce la temperatura, dilatandosi l'argento più del platino e dell'oro, la spira si svolge da sinistra a destra; il contrario accade quando la temperatura si abbassa. Si colloca l'oro tra gli altri due metalli, perchè la sua dilatazione è intermedia tra quelle dell'argento e del platino. Adoperando soltanto questi due ultimi metalli, la differenza della loro dilatazione potrebbe produrre una rottura. Il termometro di Breguet si gradua confrontandolo con un termometro campione a mercurio.

247. Termometri a massimo ed a minimo di Rutherford. — Nelle osservazioni meteorologiche è ne-

cessario conoscere la più elevata temperatura durante il giorno e la più bassa della notte. Adoperando i termometri ordinarii non si potrebbero conoscere queste temperature che con osservazioni continue, la qual cosa riuscirebbe affatto impraticabile. Perciò si immaginarono a questo scopo moltissimi strumenti, il più semplice de'quali è il seguente, dovuto a Rutherford. Sopra una tavoletta rettangolare (fig. 178) si trovano fissati due termometri, le cui aste sono piegate orizzontalmente. Il primo di questi, A, è a mercurio, il secondo, B, è ad alcoole. Nel termometro a mercurio trovasi un piccolo cilindro di ferro A, il quale può scorrere liberamente entro il tubo. Collocato questo piccolo cilindro, che serve di indice, a contatto coll'estre-

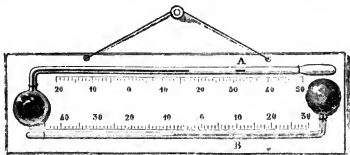



Fig 178.

mità della colonna di mercurio, e disposto lo strumento orizzontalmente, quando la temperatura si innalza, il mercurio si dilata e spinge innanzi l'indice. Questo si ferma tosto che il mercurio cessa di dilatarsi, ma rimane allo stesso posto nel tubo quando il mercurio si contrae, perchè il ferro non aderisce al mercurio. Il punto a cui si ferma l'indice segna dunque la massima temperatura verificatasi: nella figura sopra citata l'indice segna quasi 31 gradi.

Il termometro inferiore è a minimo; esso contiene dell'acoole in cui è immerso totalmente un picccolo cilindro di smalto, B, destinato a servire di indice. Se la temperatura si abbassa mentre il cilindro si trova alla estremità della colonna liquida, questa, contraendosi, lo trascina seco per effetto di adesione e l'indice si avanza per tal mondo sino al punto corrispondente alla massima contrazione del liquido. Quando la temperatura si innalza, l'alcoole si dilata e passa tra la parete del tubo e l'indice senza smuo-

verlo. Per conseguenza l'estremità dell'indice opposta al serbatojo indica la più bassa temperatura a cui è giunto lo strumento.

248. **Termometro a massimo di Walferdin.** — Il termometro a massimo di Walferdin è un termometro a ribocco, ha ed la forma di un termometro ordinario. Però alla sua parte superiore ha un piccolo serbatojo, o *ventre* in cui penetra l'asta, terminata in punta assottigliata ed aperta (fig. 179). In questo serbatojo si trova del mercurio destinato a *caricare* lo strumento, cioè ad empiere totalmente il tubo ad ogni osservazione. Perciò si scalda il serbatojo inferiore fino a tanto che il mercurio dilatandosi cominci ad escire per la punta sottile che termina il tubo. Allora, capovolgendo lo strumento, il mercurio che trovasi nel ventre scende verso la punta la quale vi si immerge interamente; indi si lascia raffreddare il termometro lentamente; tenendolo sempre capovolto. Il mercurio del serbatojo, raffreddandosi, si contrae, ed una certa quantità di liquido passa, per effetto di coesione, dal ventre nel tubo, il quale per tal guisa si empie compiutamente.

Quando si deve far uso di questo strumento, si comincia a caricarlo ad una temperatura inferiore a quella che vuolsi osservare, poi lo si colloca nel luogo in cui si desidera conoscere il massimo di temperatura. Se, sulle prime, il termometro subisce un raffreddamento, non si ha alcuna indicazione, poichè non ne esce nè vi entra mercurio. Ma se la temperatura si innalza, il mercurio si dilata, una parte ribocca nel ventre senza poter rientrare nel tubo perchè allora il termometro ha la posizione rappresentata nella figura. Per determinare poi la massima temperatura a cui lo strumento è stato esposto, basta confrontarlo con un termometro campione, scaldandoli ambedue gradatamente in un bagno, fino a tanto che nel termometro a ribocco il mercurio risalga all'estremo del tubo e sia vicino ad escirne. Consultando allora il termometro campione, la temperatura ch' esso indica è la più elevata di quelle a cui fu esposto il termometro a massimo.

Fig. 179.

Walferdin costrusse anche un termometro a minimo, il quale pure è a riboco, ma contiene due liquidi ed è di

uso più complicato che il precedente. Questi termometri si adoperano specialmente per esplorare le massime o le minime temperature del fondo dei laghi, dei mari o dei pozzi. Però bisogna allora collocarli in un tubo di vetro che si chiude poi alla lampada affine di sottrarli alla pressione esteriore, la quale diminuirebbe la capacità del serbatojo e ne spingerebbe fuori una quantità di mercurio maggiore di quella che sarebbe espulsa per la variazione di temperatura.

149. **Pirometro di Wedgwood.** — Si chiamano *pirometri* gli strumenti destinati a misurare le temperature elevate per le quali il termometro a mercurio non si potrebbe adoperare, perchè questo liquido si vaporizzerebbe ed il vetro sarebbe rammollito. Non si hanno buoni pirometri, poichè tutti quelli costrutti finora sono ben lontani dal dare la misura esatta delle temperature.

Wedgwood, fabbricatore di stoviglie in Inghilterra, adottò un pirometro fondato sulla contrazione che subisce l'argilla quando viene scaldata. Questo strumento è formato con una piastra di ottone sulla quale sono fissate tre sbarre della stessa sostanza (fig. 180), e tutte della lun-

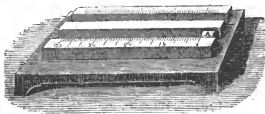



Fig. 180 ($l = 21$).

ghezza di un mezzo piede inglese. Le prime due convergono in modo che mentre ad un capo la loro distanza è di 6 linee inglesi, all'altro è soltanto di 5. Tra la seconda e la terza v'è un'apertura di 5 linee ad un estremo ed una convergenza pure di una linea. Per tal guisa la lunghezza totale del canale misuratore è di un piede, e la convergenza, da un capo all'altro, di 2 linee.

Ogni pollice del canale è diviso in 20 gradi, epperò sulla lunghezza totale si hanno 240 gradi. Per fare uso di questo strumento si prendono dei piccoli cilindri di argilla disseccati in una stufa a 100° e di tale diametro che alla temperatura ordinaria entrino nel canale appunto sino allo zero della scala, come mostra la figura 180 in

A. Portati ad un'alta temperatura, in un forno, i cilindri subiscono una contrazione che proviene da un principio di vetrificazione: raffredati e posti nel canale, vi si avanzano a motivo del restringimento, al di là dello zero, ed il punto ove si fermano indica, in gradi del pirometro, la temperatura del forno in cui sono stati collocati.

Wedgwood ha valutato approssimativamente che, supponendo lo zero del suo pirometro corrispondente a 500 gradi centesimali, ogni grado dello strumento ne vale 72. Cioè, per ridurre in gradi centigradi una temperatura data in gradi del pirometro, bisogna moltiplicare questi per 72, indi aggiungere 500 al prodotto. Ma oltrecchè queste valutazioni non sono precise, le indicazioni fornite dai varii cilindri non risultano comparabili, perchè, non potendo essere tutti formati colla stessa argilla, la loro contrazione è varia.

250. **Pirometro di Brongniart.** — Brongniart aveva fatto costruire pei forni della fabbrica di Sevres un pirometro, che ha molta analogia coll'apparecchio rappresentato nella fig. 166. Esso consiste in una sbarra di ferro o di platino collocata in una scanalatura praticata in una piastra di porcellana. Una delle estremità della sbarra s'appoggia al fondo della scanalatura; l'altra è in contatto con un'asta di porcellana che trovasi fuori del forno in cui è collocato l'apparecchio. Finalmente, quest'asta si appoggia sul braccio minore di un indice, il cui braccio maggiore si muove sopra un arco di cerchio graduato. La sbarra metallica, posta in un forno, si allunga per l'innalzamento di temperatura e spinge l'asta di porcellana, la quale fa muovere l'indice. Questo pirometro, che era andato in disuso a Sèvres, anche mentre viveva il suo autore, non può servire a determinare con precisione le temperature, ma è più esatto di quello di Wedgwood.

251. **Termometrografo.** — I termometri a massimo ed a minimo precedentemente descritti non danno a conoscere, ad ogni osservazione, se non le temperature estreme, senza lasciar traccia delle temperature intermedie. Il nipote di Breguet modificò il termometro a spira (fig. 177) di maniera che potesse indicare le temperature di ora in ora. Perciò, l'indice porta una piccola punta carica d'inchiostro, e sotto di essa trovasi una piastra mobile sulla quale sono disegnati 24 archi eguali ed equidistanti, aventi tutti la stessa graduazione centigrada. Ad

ogni ora un meccanismo di orologeria fa avanzare la piastra di una quantità eguale all'intervallo tra due archi, e contemporaneamente dà un piccolo colpo sulla punta dell'indice, la quale segna un punto nero sull'arco. Il numero dell'arco indica l'ora, e la posizione del punto nero dà la temperatura corrispondente.

CAPITOLO II.

DILATAZIONE DEI SOLIDI.

252. **Dilatazione lineare e dilatazione cubica, coefficienti di dilatazione.** — Si è già veduto (230) che nei corpi solidi si distinguono due sorta di dilatazione; la *dilatazione lineare,* cioè secondo una sola dimensione, e la *dilatazione cubica,* cioè in volume.

Si chiama *coefficiente di dilatazione lineare* l'aumento che avviene nell'unità di lunghezza d'un corpo, quando la temperatura si innalza da 0^0 ad 1^0, e *coefficiente di dilatazione cubica* l'incremento che assume nello stesso caso l'unità di volume.

Questi coefficienti variano da un corpo all'altro, ma per un medesimo corpo sussiste tra essi una relazione semplice; cioè *il coefficiente di dilatazione cubica è triplo del coefficiente di dilatazione lineare.* Perciò, moltiplicando o dividendo per 3 uno di questi coefficienti, quando sia noto, si può determinare l'altro.

Per dimostrare che il coefficiente di dilatazione cubica è triplo del coefficiente di dilatazione lineare, si immagini un cubo il cui lato sia eguale ad 1 alla temperatura 0^0. Se si rappresenta con k l'allungamento che subisce questo lato passando da 0^0 ad 1^0, la sua lunghezza ad 1^0 sarà $1 + k$ ed il volume del cubo, che era 1 a 0^0, sarà attualmente $(1 + k)^3$, cioè $1 + 3k + 3k^2 + k^3$. Ora, siccome l'allungamento k è sempre una frazione piccolissima (pag. 252 *tabella*), il suo quadrato k^2 ed il suo cubo k^3 sono frazioni piccole in modo che si possono trascurare nella valutazione dei numeri che rappresentano i coefficienti di dilatazione cubica. Omettendo i termini che contengono k^2 e k^3, l'espressione del volume ad 1^0, riducesi approssimativamente ad $1 + 3k$. L'incremento di volume è dunque $3k$, cioè triplo del coefficiente di dilatazione lineare.

Si dimostrerebbe del pari che il coefficiente di dilatazione superficiale è doppio del coefficiente di dilatazione lineare.

253. Misura dei coefficienti di dilatazione lineare, metodo di Lavoisier e Laplace. — Molti sperimentatori si occuparono nel misurare i coefficienti di dilatazione lineare, ed a quest'uopo immaginarono diversi apparati. Prima di tutto descriveremo quello del quale si servirono Lavoisier e Laplace nel 1782.

L'apparato di questi due fisici, rappresentato dalla figura 181, consta di una vasca di rame collocata sopra un fornello tra quattro pilastri di pietra. I due che nella figura sono alla destra sostengono un asse orizzontale alla cui estremità si trova un cannocchiale; nel mezzo dell'asse è fissato un regolo di vetro che gira con esso e

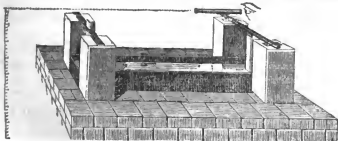



Fig. 181.

quindi anche col cannocchiale. Negli altri due pilastri sono infisse due traverse di ferro che tengono fermo un altro regolo di vetro. Finalmente, nella vasca v'è un bagno d'acqua o d'olio in cui si pone la sbarra della quale si vuole misurare il coefficiente di dilatazione.

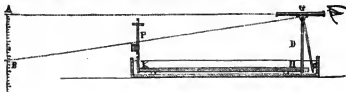



Fig. 182.

La figura 182 rappresenta una sezione dell'apparato. G è il cannocchiale, KH la sbarra i cui estremi s'appoggiano sui due regoli di vetro F e D. Essendo fisso il regolo F, la sbarra non può allungarsi se non nella direzione KH, e affinchè i suoi movimenti non siano impediti, riposa sopra due piccoli cilindri di vetro. Finalmente, nel cannocchiale avvi un filo micrometrico orizzontale, il quale, allorchè questo ruota di un certo angolo, percorre un nu-

mero di divisioni corrispondenti su di una scala verticale AB posta alla distanza di 200 metri.

Ciò posto, introducevasi dapprima del ghiaccio nella vasca, e, trovandosi la sbarra alla temperatura di zero, si osservava a quale divisione corrispondesse il filo del cannocchiale sulla scala AB, poi, tolto il ghiaccio, si riempiva la vasca con acqua od olio, e si riscaldava. L'ultimo di questi liquidi poteva essere portato ad una temperatura più elevata.

Allora la sbarra si dilatava, e, quando la temperatura era diventata stazionaria, notavasi da una parte la temperatura del bagno per mezzo dei termometri che vi erano immersi, e dall'altra a quale divisione della scala corrispondeva il filo micrometrico del cannocchiale.

Da questi dati deducevasi poi l'allungamento della sbarra.

Di fatti, rappresentando questo allungamento con CH, e supponendo che GB sia la direzione inclinata dell'asse ottico del cannocchiale, i due triangoli GHC e ABC sono simili perchè hanno i lati perpendicolari ciascuno a ciascuno, onde si ha:

$\frac{HC}{AB} = \frac{GH}{AG}$. Del pari, se rappresentiamo con HC′ un altro allungamento e con AB′ la deviazione corrispondente, abbiamo ancora $\frac{HC'}{AB'} = \frac{GH}{AG}$; il che dimostra che il rapporto dell'allungamento della sbarra alla deviazione del cannocchiale è costante, essendo sempre eguale a $\frac{GH}{AG}$. Ora, con un esperimento preliminare erasi trovato questo rapporto eguale ad $\frac{1}{744}$. Avevasi quindi $\frac{HC}{AB} = \frac{1}{744}$, d'onde $HC = \frac{AB}{744}$; vale a dire che l'allungamento totale della sbarra si otteneva dividendo per 744 la distanza percorsa sulla scala dal filo micrometrico del cannocchiale. Conosciuto quest'allungamento, dividendolo per la lunghezza

della sbarra a zero e per la temperatura del bagno, si aveva la dilatazione per una sola unità di lunghezza e per un solo grado, cioè il coefficiente di dilatazione lineare.

254. **Metodo di Roy e di Ramsden.** — Il maggiore Roy, nel 1787, adoperò l'apparecchio rappresentato dalla figura 183 per misurare i coefficienti di dilatazione. Quest'apparato, costruito da Ramsden, risulta di tre vasche metalliche parallele lunghe circa due metri. In quella di

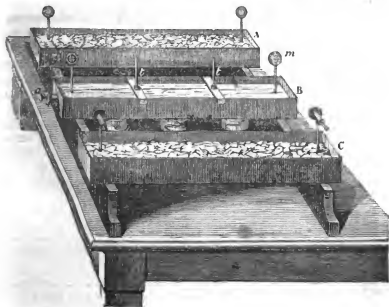



Fig. 183.

mezzo si pone, sotto forma di sbarra prismatica, il corpo del quale si cerca il coefficiente di dilatazione; nelle altre due vi sono delle sbarre di ghisa lunghe precisamente come la prima. Alle loro estremità queste tre sbarre sono munite di aste verticali. Nella vasca A e B queste aste portano dei piccoli dischi in cui sono praticati dei fori circolari sui quali sono tesi in croce dei fili micrometrici, come reticoli di cannocchiale (477); ma nella vasca C le aste portano dei tubi contenenti un obbiettivo ed un oculare di microscopio parimenti fornito di reticolo.

Essendo piene di ghiaccio tutte le vasche, ed essendo a zero le tre sbarre, i punti di incrociamento dei fili sui dischi e nei tubi sono precisamente in linea retta a cia-

scuna estremità. Si leva allora il ghiaccio dalla sola vasca centrale e vi si versa dell'acqua, che si porta a 100° mediante lampada ad alcoole posta sotto la vasca; allora la sbarra che vi è contenuta si dilata; ma siccome è posta a contatto colla sommità di una vite *a* fissata alla parete, e, tutto l'allungamento si produce nel verso *nm*, il reticolo *n* rimane in linea, il solo reticolo *m* è deviato verso B di una quantità precisamente eguale all'allungamento. Ora, la vite *a* è collegata colla sbarra, e, ruotandola lentamente da destra a sinistra, si riconduce la sbarra nel verso *mn* ed il reticolo *m* finisce per trovarsi in linea. A questo istante, la vite si avanzò di una lunghezza precisamente eguale all'allungamento della sbarra, e, siccome la lunghezza di cui si avanzò la vite si deduce con una grande precisione dal numero dei giri che ha fatto e dal suo *passo*, si ha così la dilatazione totale della sbarra, dalla quale si deduce poi il suo coefficiente di dilatazione dividendola per la temperatura del bagno e per la lunghezza della sbarra a zero.

Coefficienti di dilatazione lineare, fra zero e 100°,
dei corpi più adoperati nelle arti.

Vetro bianco	0,000008613	Rame	0,000017182
Platino	0 000008842	Bronzo	0,000018167
Acciajo non temperato .	0,000010788	Ottone	0,000018782
Ghisa	0,000011250	Argento di coppella . .	0.000019097
Ferro dolce lav. a mar.	0,000012204	Stagno	0,000021730
Acciajo temperato . . .	0,00 012395	Piombo	0,000028575
Oro di spartimento . .	0,000014660	Zinco	0,000029417

I coefficienti della dilatazione cubica, dietro i rapporti che abbiamo veduto esistere fra essi ed i coefficienti della dilatazione lineare (249), si deducono immediatamente dai numeri della precedente tabella moltiplicandoli per **3**. Nondimeno, trattando del *termometro a peso*, faremo più innanzi conoscere direttamente i coefficienti della dilatazione cubica.

255. **I coefficienti di dilatazione aumentano colla temperatura.** — L'esperienza mostra che il coefficiente di dilatazione lineare dei metalli è sensibilmente costante tra 0° e 100°, cioè che, per uno stesso numero di gradi, la lunghezza cresce costantemente della stessa frazione di quella che era a 0°. Ma, dietro le ricerche di Dulong e Petit, il coefficiente diventa maggiore tra 100°

e 200°, ed il suo aumento è ancora più grande tra 200° e 300°, e così di seguito sino al punto di fusione. L'acciajo temperato fa eccezione; il suo coefficiente decresce quando la sua temperatura sorpassa un certo limite.

256. **Formole relative alle dilatazioni dei solidi.** — Sia l la lunghezza d'un corpo a 0°, l' la sua lunghezza alla temperatura t, e k il suo coefficiente di dilatazione lineare. La relazione che esiste tra queste quantità si esprime colle formole alle quali conducono le seguenti considerazioni.

Siccome k è l'allungamento corrispondente ad 1° e ad una unità di lunghezza, l'allungamento corrispondente a t gradi è t volte k, ossia kt per ciascuna unità; epperò è l volte kt, ossia ktl per l unità di lunghezza. Adunque la lunghezza dell'asta che era l a 0° è $l + lkt$ a t gradi, quindi

$$l' = l + ktl \ (1).$$

Scrivendo l come fattore comune nel secondo membro, da questa formola si ottiene

$$l' = l\,(1 + kt) \ (2).$$

La formola (2) serve a trovare la lunghezza a t gradi quando si conosca la lunghezza a 0°. Inoltre, dividendone i due membri per $1 + kt$, se ne deduce

$$l = \frac{l'}{1 + kt} \ (3).$$

la quale formola serve a trovare la lunghezza l a 0° quando si conosca la lunghezza l' a t gradi.

Finalmente, se nell'equazione (1) si trasporta l nel primo membro, e si divide da ambe le parti per tl, si trova

$$k = \frac{l' - l}{t\,l} \ (4).$$

Quest'ultima equazione serve a calcolare il cofficiente di dilatazione k.

Se in luogo delle dilatazioni lineari si considerano le cubiche, si trovano formole analoghe alle precedenti. Infatti, siano V il volume di un corpo a 0°, V' il suo volume a t gradi e K il suo coefficiente di dilatazione cubica, il quale, come è noto, (249) è triplo di k. Collo stesso ragionamento già fatto poc'anzi si trova $V' = V\,(1 + Kt)$ (5) e $V = \frac{V'}{1 + Kt}$ (6), le quali formole servono a determinare il volume a t gradi conoscendo il volume a zero, e reciprocamente.

Il binomio $1 + K\,t$ si distingue talvolta col nome di *binomio di dilatazione*. Adottando questa espressione, le formole (5) e (6) dimostrano che quando un corpo si riscalda o si raffredda, il suo volume varia nel primo caso in ragione diretta del binomio di dilatazione, e nel secondo in ragione inversa dello stesso binomio.

257. **Problemi sulle dilatazioni.** — I. Si domanda quale lunghezza

avrà ad 80° un'asta di ferro che a 0° è lunga $2^m,6$, supposto che il coefficiente di dilatazione del ferro sia 0,0000122.

Questo problema si risolve colla formola (2) precedente, ponendovi

$$l = 2^m,6, \ t = 80, \ k = 0,0000122,$$

onde si ha

$$l' = 2^m,6\ (1 + 0,0000122 \times 80) = 2^m,6 \times 1,000976 = 2^m,6025.$$

La lunghezza cercata è adunque $2^m,6025$; epperò l'allungamento è di 2 millimetri e mezzo.

II. — Un'asta di rame è lunga $3^m,4$ a 90°; si vuole sapere quale sarà la sua lunghezza a 0°, conoscendosi il coefficiente di dilatazione del rame 0,0000172.

Qui conviene usare la formola (3) del paragrafo precedente, ponendovi $l' = 3^m,4$, $t = 90$, $k = 0,0000172$, onde si ottiene

$$l = \frac{3,4}{1 + 0,0000172 \times 90} = \frac{3,4}{1,001548} = 3^m,395.$$

III. — Un'asta metallica ha la lunghezza l a t gradi; quale sarà la sua lunghezza l' a t' gradi?

Questo problema si risolve cercando la lunghezza dell'asta a 0°, che è $\frac{l}{1+kt}$ giusta la formola (3); poi dalla lunghezza a 0°, si passa alla lunghezza a t' gradi per mezzo della formola (2), cioè moltiplicandola per $1 + kt'$, onde si ha per la lunghezza cercata

$$l' = \frac{l\ (1 + kt')}{1 + kt}.$$

IV. — Alla temperatura di t gradi, si misura una data lunghezza in un regolo metallico diviso in millimetri e si trova che questa lunghezza contiene n divisioni del regolo. Essendo stata fatta la divisione alla temperatura di zero, si domanda quale correzione debba farsi per tener calcolo della dilatazione da zero a t gradi.

Per ciò, notiamo che le divisioni del regolo non hanno il valore di un millimetro che a zero; a t gradi ciascuna di esse ha il valore di $1 + kt$, essendo k il coefficiente di dilatazione del regolo. Perciò le n divisioni ottenute rappresentano non già n millimetri ma $n\ (1 + kt)$. Tale è dunque il numero reale di millimetri corrispondente alla lunghezza che venne misurata.

V. — Supposto che la densità di un corpo a 0° sia d, si vuol calcolare la sua densità d' a t gradi.

Se si rappresenta con 1 il volume del corpo a 0°, e con D il suo coefficiente di dilatazione cubica, il volume a t gradi sarà $1 + Dt$, e siccome la densità di un corpo è evidentemente in ragione inversa del volume che esso assume dilatandosi, si avrà la proporzione $1 + Dt : 1 :: d : d'$, da cui

$$d' = \frac{d}{1 + Dt};$$

onde si conchiude che quando un corpo si riscalda da 0° a t gradi, la sua densità, e quindi il suo peso, variano in ragione inversa del binomio di dilatazione.

VI. — Il volume di un pallone di vetro è V' a t gradi; quale sarà il suo volume V a zero?

Per risolvere questo problema si ammette che un pallone di vetro si dilati per una determinata variazione di temperatura, come si dilaterebbe una sfera di vetro massiccia dello stesso volume. Rappresentando adunque con δ il coefficiente di dilatazione cubica del vetro, e con V il volume del pallone a 0°, dietro la formola (5) (256), si avrà

$$V' = V \cdot \delta V t = V (1 + \delta t),$$

$$\text{da cui } V = \frac{V'}{1 + \delta t}.$$

258. **Applicazioni della dilatazione dei solidi.** — La dilatazione dei solidi presenta numerose applicazioni nelle arti. Le grate dei fornelli, per esempio, non devono essere incastrate troppo esattamente alle loro estremità, ma si devono lasciar libere almeno ad una, altrimenti, dilatandosi, smoverebbero le pietre circostanti. Sulle ferrovie se le guide o *raili* si toccassero, lo sforzo che fanno per dilatarsi le incurverebbe di distanza in distanza, ovvero spezzerebbe i loro cuscinetti. Un vase di vetro riscaldato o raffreddato troppo rapidamente si rompe, perchè, essendo il vetro cattivo conduttore del calorico, il riscaldamento, e quindi la dilatazione delle pareti, è ineguale.

259. **Pendolo a compensazione.** — La ineguale dilatazione dei varii metalli fu applicata utilmente nel *pendolo a compensazione.* Si denomina così un pendolo nel quale l'allungamento dell'asta, al crescere della temperatura, è compensato in modo che la distanza tra il centro di sospensione ed il centro di oscillazione rimanga costante (60), come si richiede (59,3.ª), affinchè sussista l'isocronismo ed il pendolo possa servire di regolatore agli orologi (62). Per compensare i pendoli furono proposti molti sistemi, tra i quali si adotta generalmente quello rappresentato nella figura 184.

In questo sistema, la lente è sostenuta non da una sola asta, ma da parecchi telaj le cui aste verticali sono di acciajo e di ottone alternate. Nella figura 184 le aste di acciajo, in numero di sei, sono rappresentate in nero, e le altre quattro rappresentano quelle di ottone. L'asta di

mezzo, cioè quella che porta la lente L, è fissata superiormente ad una traversa orizzontale; inferiormente poi è libera e passa entro fori cilindrici nelle traverse orizzontali inferiori.

Fig. 184.

Attesa la concatenazione delle aste verticali colle traverse orizzontali, è facile lo scorgere che le aste d'acciajo possono allungarsi solo dall'alto in basso, e quelle di ottone solamente dal basso all'alto. Per conseguenza, affinchè la lunghezza del pendolo rimanga costante, basta che per l'allungamento delle aste di ottone la lente sia sollevata appunto di tanto quanto tende ad abbassarla l'allungamento delle aste d'acciajo. Questo risultato si ottiene dando alle aste d'acciajo ed a quelle di ottone lunghezze tali che stiano fra loro in ragione inversa dei coefficienti di dilatazione di queste due sostanze.

Infatti, siano a, a', a'', a''' le lunghezze rispettive delle aste d'acciajo c, d, e, i, le quali sono evidentemente le sole che conviene prendere in considerazione: siano parimenti c, c' le lunghezze delle aste di ottone b ed n, ed L la lunghezza del pendolo, cioè la distanza CO del punto di sospensione dal centro di oscillazione (60): si ha

$$L = (a + a' + a'' + a''') - (c + c') \ (1).$$

Ora, se si rappresentano con K e K' i coefficienti di dilatazione dell'acciajo e dell'ottone, gli allungamenti dei due metalli a t gradi saranno rispettivamente $(a + a' + a'' + a''')$ K t e $(c + c')$ K' t. Perchè la lunghezza L sia costante, bisognerà dunque che si abbia

$$(a + a' + a'' + a''')\,K\,t = (c + c')\,K'\,t, \text{ d'onde}$$

$$\frac{a + a' + a'' + a'''}{c + c'} = \frac{K'}{K} \ (1).$$

Questo risultato essendo indipendente da t, si scorge che la compensazione avrà luogo a tutte le temperature. Ora, se si vogliono calcolare le lunghezze

rispettive di ciascun sistema di aste di acciajo e di ottone perchè vi abbia compensazione, basta portare nell' eguaglianza (2) il valore di

$(a + a' + a'' + a''')$ dedotto dall'eguaglianza (1); ne risulta

$(L + c + c')\,K = (c + c')\,K'$, da cui si deduce

$$c + c' = \frac{L}{\frac{K'}{K} - 1}.$$

Ora, per l'ottone e l'acciajo il rapporto $\frac{K'}{K}$ è assai prossimamente eguale a $\frac{7}{4}$, e perciò si ha

$$c + c' = \frac{4}{3}\,L,\ \text{ed}\ a + a' + a'' + a''' = \frac{7}{3}L.$$

Siccome si vuole ordinariamente che i pendoli degli orologi battano i secondi, così per Parigi si ha $L = 0^m, 993866$ (60), e quindi $c + c' = 1^m, 325155$ ed $a + a' + a'' + a''' = 2^m, 319021$.

Il calcolo dimostra che, adoperando un numero di aste d'acciajo e di ottone minore delle qui supposte, la compensazione sarebbe impossibile (*).

Si giunge a mantenere invariata la lunghezza del pendolo anche per mezzo di *lamine compensatrici*. Si chiamano così due lamine, l'una di ferro e l'altra d'ottone, saldate insieme e fissate all'asta del pendolo, come mostra

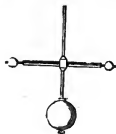
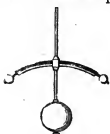



Fig. 185. *Fig.* 186. *Fig.* 187.

la figura 185. La lamina di ottone, che è più dilatabile, trovasi al di sotto di quella di ferro. Ciò posto, allorquando la temperatura si abbassa, l'asta del pendolo si accorcia e la lente si solleva: ma allora le lamine compensatrici s'incurvano, come mostra la fig. 186, perchè l'ottone si contrae più del ferro. Per tal modo si abbassano

(*) Sarebbe cioè impossibile ottenere la compensazione con aste le cui lunghezze fossero ciascuna minori della lunghezza del pendolo.

(Nota dei Trad.).

due palle metalliche collocate agli estremi delle lamine, e, se queste palle hanno una massa opportuna, avviene compensazione tra le parti che si avvicinano al centro di sospensione e quelle che se ne allontanano, così che il centro di oscillazione non è spostato. Se la temperatura cresce, la lente si abbassa, ma risalgono le palle, come indica la figura 187, e si effettua di nuovo la compensazione.

CAPITOLO III.

DILATAZIONE DEI LIQUIDI.

260. **Dilatazione apparente e dilatazione assoluta.** — Nei liquidi non si considera che la dilatazione cubica, la quale si distingue in dilatazione assoluta ed apparente. La *dilatazione apparente* è l'incremento di volume d'un liquido chiuso in un recipiente che si dilata meno del liquido. Tale sarebbe quella del mercurio e dell'alcoole nei termometri. La *dilatazione assoluta* è il reale incremento di volume d'un liquido, fatta astrazione da ogni dilatazione del recipiente in cui è posto.

La dilatazione assoluta è maggiore dell'apparente di una quantità eguale alla dilatazione del serbatojo. Per rendere manifesta la dilatazione del recipiente, si immerge nell'acqua bollente un termometro a grande serbatojo ed empito, sino alla metà dell'asta, di alcoole colorato. All'istante in cui il serbatojo viene immerso nell'acqua calda, l'alcoole si abbassa nel tubo, il quale effetto proviene evidentemente dalla dilatazione del serbatojo; ma se si prolunga l'immersione del termometro, l'alcoole si scalda e si eleva nel tubo di una quantità che corrisponde alla sua dilatazione assoluta, diminuita di quella del recipiente.

Il *coefficiente di dilatazione* di un liquido è, come pei solidi, l'incremento dell'unità di volume quando la temperatura si eleva da 0° ad 1°; ma vuolsi ancora distinguere il *coefficiente di dilatazione apparente* e quello di *dilatazione assoluta*. Per determinare questi coefficienti di ditazione furono usati parecchi processi. Noi non esporremo che quelli adottati da Dulong e Petit.

261. Coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio. — **Per determinare il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio bisognava evitare**

l'influenza della dilatazione del recipiente. A questo intento Dulong e Petit si appoggiarono al principio di idrostatica, che, in due vasi comunicanti, le altezze di due liquidi che si fanno equilibrio sono in ragione inversa delle loro densità (89), il quale principio è indipendente dai diametri dei vasi e per conseguenza dalla loro dilatazione.

L'apparecchio dei due fisici nominati si componeva di due tubi di vetro A e B (fig. 188) posti verticalmente e comunicanti tra loro per mezzo di un tubo capillare. Ciascuno dei due tubi era cinto da un cilindro metallico, il

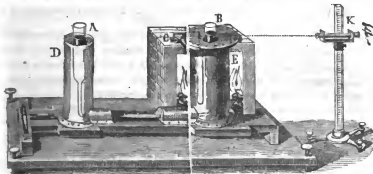



Fig. 188.

più piccolo dei quali, D, trovavasi pieno di ghiaccio frantumato, e l'altro, E, di olio che si scaldava gradatamente per mezzo di un piccolo fornello che la figura 188 rappresenta aperto per lasciar vedere il cilindro. Finalmente, i due tubi A e B erano pieni di mercurio che si disponeva al medesimo livello quando i tubi erano alla stessa temperatura, ma si elevava nel tubo B di mano in mano che procedeva il riscaldamento.

Ciò posto, siano h e d l'altezza e la densità del mercurio nel ramo A alla temperatura 0°; h' e d' le analoghe quantità pel ramo B alla temperatura t gradi; dietro il principio d'idrostatica richiamato poc'anzi si ha: $h' : h = d : d'$.

Ora $d' = \dfrac{d}{1 + Dt}$ (257, probl. IV), quando D indichi il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio; adunque, sostituendo il valore di d' nella proporzione precedente, si ottiene $h' : h = d : \dfrac{d}{1 + Dt}$. Dividendo i due ultimi termini per d e moltiplicandoli per $1 + Dt$ si ha $h' : h = Dt : 1$, d'onde, eguagliando il prodotto dei medii a quello degli estremi, si deduce $h + hDt = h'$, e quindi $D = \dfrac{h' - h}{ht}$.

Quest'ultima formola dà il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, quando siansi misurate le altezze h ed h' di questo liquido nei due tubi e la temperatura t del bagno in cui è immerso il tubo B. Nell'espe-

rimento di Dulong e Petit questa temperatura era misurata da un termometro a peso P (260) il cui mercurio riboccava in una capsula C. Le altezze h ed h' erano misurate con un catetometro K (69).

Con questo processo Dulong e Petit hanno trovato che il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio tra 0° e 100° è $\frac{1}{5550}$. Ma essi osservarono che questo coefficiente cresce colla temperatura. Fra 100° e 200°, il coefficiente medio è $\frac{1}{5425}$; tra 200° e 300° è $\frac{1}{5300}$. Lo stesso fenomeno si osserva in tutti gli altri liquidi; il che dimostra che questi corpi non si dilatano regolarmente. Si conobbe che la loro dilatazione è tanto più irregolare quanto più sono vicini alla loro temperatura di solidificazione o di ebollizione. Riguardo al mercurio, Dulong e Petit hanno constatato che da — 36° a 100° la sua dilatazione può ritenersi regolare.

262. Coefficiente di dilatazione apparente del mercurio. — Il coefficiente di dilatazione apparente di un liquido varia colla natura del recipiente. Quello del mercurio nel vetro fu determinato da Dulong e Petit per mezzo dell'apparecchio rappresentato nella fig. 189. È composto di un serbatojo cilindrico di vetro a cui è saldato un tubo capillare piegato ad angolo retto ed aperto alla sua estremità.

Fig. 189 ($l = 20$).

Per fare l'esperienza si pesa lo strumento vuoto, poi pieno di mercurio a 0°; la differenza dei due pesi dà il peso P del mercurio contenuto nell'apparecchio. Scaldandolo in seguito fino ad una data temperatura t, il mercurio si dilata e ne esce una certa quantità, che si raccoglie in una piccola capsula e si pesa. Rappresentando con p il peso del mercurio uscito, quello del mercurio rimasto nell'apparecchio è $P - p$.

Ciò posto, quando lo strumento ritorna a zero, raffredandosi il mercurio, nel serbatojo si produce un vuoto che rappresenta la contrazione del peso di mercurio $P-p$ da t a 0°, o, ciò che è evidentemente lo stesso, la dilatazione di questo medesimo peso da 0° a t; cioè il peso p rappresenta la dilatazione per t gradi del peso $P-p$. Ora, se il peso $P-p$, preso a zero, si dilata, nel vetro, di una quantità p sino a t gradi, una sola unità di peso si dilata nelle medesime condizioni, di $\frac{p}{P-p}$ per t gradi e di $\frac{p}{(P-p)t}$ per un solo grado; dunque $\frac{p}{(P-p)t}$ rappresenta il coefficiente di dilatazione

apparente del mercurio nel vetro. Perciò, rappresentando con D' questo coefficiente, si ha $D' = \frac{p}{(P-p)t}$.

Dulong e Petit trovarono per tal guisa che il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro è $\frac{1}{6480}$.

263. Termometro a peso. — L'apparecchio rappresentato nella figura 189 ricevette il nome di *termometro a peso*, perchè dal peso del mercurio uscito si può dedurre la temperatura a cui lo strumento è stato portato. Infatti, l'esperimento suesposto avendoci condotti alla formola

$$\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480},$$

togliendo i denominatori, si trova $p \times 6480 = (P-p)t$ da cui $t = \frac{p \times 6480}{P-p}$, la quale formola dà t quando si conoscano P e p.

264. Coefficiente di dilatazione del vetro. — Siccome la dilatazione assoluta di un liquido è eguale alla dilatazione apparente aumentata della dilatazione del recipiente, così si ottiene il coefficiente della dilatazione cubica del vetro prendendo la differenza tra il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio e quella della sua dilatazione apparente nel vetro, cioè, il coefficiente di dilatazione cubica del vetro è eguale a

$$\frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{1}{38676} = 0{,}00002584.$$

Regnault ha constatato che il coefficiente di dilatazione varia colle diverse sorta di vetro ed anche colla forma del vase. Pel vetro ordinario dei tubi adoperati per usi chimici questo scienziato trovò che il coefficiente è 0,0000254.

265. Coefficienti di dilatazione dei diversi liquidi. — Il coefficiente di dilatazione apparente di qualsiasi liquido si può determinare col processo del termometro a peso (263). Se poi si vuole determinare il coefficiente di dilatazione assoluta, si aggiunge al coefficiente di dilatazione apparente quello di dilatazione del vetro, come risulta dalla relazione che passa tra questi tre coefficienti (265)

DILATAZIONE APPARENTE DI ALCUNI LIQUIDI
DA ZERO A 100 GRADI, SECONDO DALTON.

Mercurio	0,01543	Essenza di trementina . . .	0,07
Acqua distillata.	0,0466	Etere solforico	0,07
Acqua satura di sale marino	0,05	Olii fissi.	0,08
Acido solforico.	0,06	Alcoole	0,116
Acido clorìdrico	0,06	Acido azotico	0,11

Siccome questi numeri rappresentano la dilatazione totale da 0° a 100 gradi, bisognerebbe dividerli per 100 a fine di ottenere la dilatazione per un solo grado, ossia il coefficiente di dilatazione; ma i risultati che così

si otterrebbero non possono rappresentare i coefficienti medii di dilatazione dei liquidi stessi, perchè questi corpi si dilatano assai irregolarmente, e i loro coefficienti vanno sempre aumentando partendo dalla temperatura zero. Il mercurio e l'acqua fanno eccezione, dilatandosi il primo regolarmente da 0 a 100° e l'acqua restringendosi sulle prime al crescere di alcuni gradi la temperatura al di sopra di zero, come si vedrà qui appresso (268).

266. Applicazione del termometro a peso alla misura delle dilatazioni cubiche. — Dulong e Petit applicarono il metodo del termometro a peso alla ricerca dei coefficienti della dilatazione cubica. Perciò adoperavano un tubo di vetro alquanto grosso e vi introducevano, sotto forma di prisma allungato, la sostanza della quale cercavano il coefficiente di dilatazione dopo averne determinato il peso e la densità, e quindi il volume; poi tiravano alla lampada l'estremità del tubo e la curvavano in modo da dargli la forma di un termometro a peso (fig. 190) Riempivano in seguito di mercurio lo spazio rimasto vuoto nel tubo, e determinavano il peso P di questo liquido che vi era contenuto a 0°.

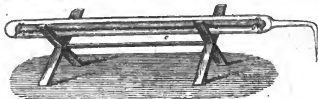



Fig 190.

Ciò posto, esperimentando assolutamente come col termometro a peso, si portava l'apparato ad una temperatura conosciuta t; siccome allora il mercurio ed il corpo contenuti nel tubo si dilatavano più del vetro, usciva una quantità p di mercurio, che si pesava, e non rimaneva più che da esprimere con una equazione facile a trovarsi che il volume del mercurio uscito eguagliava la dilatazione del corpo, più quella del mercurio, meno quella del vetro. Ora, essendo note le dilatazioni del mercurio e del vetro, se ne deduceva quella del corpo contenuto nel tubo.

267. Correzione dell'altezza barometrica. — Si è già indicato all'articolo *barometro* (143) che per rendere le indicazioni di questo strumento paragonabili tra loro, in diversi luoghi ed in differenti stagioni, bisogna ridurre sempre la colonna del mercurio ad una temperatura costante, la quale è quella del ghiaccio fondentesi. Questa correzione si fa col calcolo seguente.

L'altezza barometrica a t gradi sia H, ed h l'altezza a 0°. Se si rappresenta con d la densità del mercurio a zero, e con d' la densità a t gradi, si sa (135) che le altezze H ed h sono in ragione inversa delle densità d e d' cioè che si ha $\frac{h}{H}=\frac{d'}{d}$ (1). Ma un volume 1 di mercurio a 0° diventa

$1 + Dt$ a t gradi, quando si rappresenti con D il coefficiente di dilatazione assoluta di questo liquido. Ora, si è veduto (257, probl. IV) che il rapporto dei volumi $1 + Dt$ ed 1 è eguale al rapporto inverso delle densità d e d', cioè che si ha $\frac{d'}{d} = \frac{1}{1+Dt}$ (2). Ciò posto, dalle proporzioni (1) e (2) si deduce $\frac{h}{H} = \frac{1}{1+Dt}$, d'onde $h = \frac{H}{1+Dt}$. Sostituendo a D il suo valore $\frac{1}{5550}$, si ha $h = \frac{H}{1 + \frac{t}{5550}} = \frac{H + 5550}{5550 + t}$.

In questo calcolo si deve prendere il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio e non il coefficiente di dilatazione apparente, poichè il valore di H rimane lo stesso come se il vetro non si dilatasse, essendo l' altezza barometrica indipendente dal diametro del tubo (82), e, per conseguenza, dalla sua dilatazione.

Per applicare la formola precedente, proponiamoci di ridurre a 0° l'altezza barometrica 0m, 75 osservata alla temperatura 25°.

$$\text{Si ha } h = \frac{5550 \times 0^m,75}{5550 + 25} = \frac{4162.1}{4575} = 0^m,746.$$

Nella formola precedente venne trascurata la dilatazione della scala del barometro. Ora, abbiamo veduto (probl. IV, 257) che, per fare questa correzione, bisogna moltiplicare il numero n di divisioni osservate sulla scala pel binomio di dilatazione $(1 + kt)$, essendo k il coefficiente di dilatazione della scala. Quindi la vera altezza del barometro ricondotto a zero è

$$h = \frac{H(1 + kt)}{1 + Dt}, \text{ ossia } h = \frac{H \times 5550(1 + kt)}{5550 + t}.$$

268. **Massimo di densità dell'acqua.** — L'acqua presenta questo notabile fenomeno, che, all'abbassarsi della temperatura si contrae soltanto sino a 4°; al di sotto di questa temperatura, benchè continui il raffreddamento, cessa la contrazione, anzi il liquido si dilata sino al punto di congelazione, che è a 0°; epperò a 4° l'acqua offre un massimo di condensazione.

Parecchi sono i processi che servirono alla determinazione della temperatura del massimo di densità dell'acqua. Hope, fisico scozzese, eseguì il seguente esperimento; prese un vaso profondo munito lateralmente di due tubulature, nelle quali erano fissati due termometri, uno alla parte superiore e l'altro alla inferiore (fig. 191), lo riempì d'acqua a 0° e lo collocò in una atmosfera a 5°. Ora,

riscaldandosi tutta la massa di acqua, il termometro inferiore segnò pel primo 4°, conservandosi sempre a 0° il superiore. In appresso Hope fece l'esperimento inverso, ossia riempì lo stesso vaso di acqua a 15° e lo pose in una atmosfera 0°. In questo caso il termometro inferiore, essendo disceso a 4°, vi restò stazionario per diverse ore, mentre il termometro superiore si raffredava sino a 0°. Questi due esperimenti dimostrano chiaramente che a 4° l'acqua è più densa che a 0°, poichè sì nel primo che nel secondo l'acqua a 4° occupa la parte inferiore del vase.

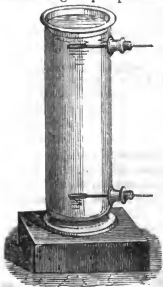



Fig. 191.

Più tardi Hallström, pesando nell'acqua a differenti temperature un globo di vetro zavorrato con sabbia, e tenendo a calcolo la dilatazione del vetro, trovò che il globo subiva la massima perdita di peso nell'acqua a 4°,1 d'onde concluse che a questa temperatura corrisponde la massima contrazione dell'acqua.

Ma Despretz con un altro metodo si accertò che questo fenomeno si produce precisamente a 4°. Questo scienziato adoperò un termometro ad acqua, cioè riempito d'acqua in luogo di mercurio. Raffreddandolo gradatamente in un bagno, la cui temperatura era indicata da un termometro a mercurio, riconobbe che la massima contrazione nel termometro ad acqua, e quindi il massimo di densità dell'acqua, avviene a 4° (*).

(*) Secondo Muncke la temperatura a cui corrisponde la massima densità dell'acqua sarebbe 3°,87; secondo altri sarebbe 3°,92.

(*Nota dei Trad.*).

CAPITOLO IV.

DILATAZIONE E DENSITA' DEI GAS.

269. **Metodo di Gay-Lussac; sue leggi.** — I gas sono i corpi che si dilatano più di tutti e con maggiore regolarità. Di più, se si prende per coefficiente di dilatazione dei gas, come pei solidi e pei liquidi, l'incremento dell' unità di volume da 0° ad 1°, si trova che i coefficienti di dilatazione dei varii gas non differiscono tra loro che di piccolissime quantità. Finalmente, in questi corpi non si può considerare che la dilatazione cubica.

Gay-Lussac misurò il coefficiente di dilatazione dei gas, per mezzo dell'apparecchio rappresentato nella figura 192. Questo apparecchio risulta di una cassa rettangolare

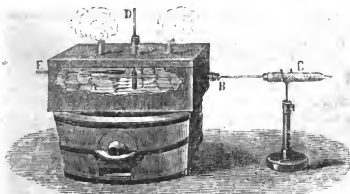



Fig. 192. (l = 70).

di latta, lunga circa 80 centimetri e piena d'acqua, della quale potevasi elevare più o meno la temperatura. Entro l'acqua trovavasi un termometro ad aria formato da un serbatojo sferico A, e da un tubo capillare AB. Dividevasi dapprima questo tubo in parti di eguale capacità (233) e si determinava quante di queste parti contenesse il serbatojo A, pesando l'apparecchio pieno di mercurio e poi scaldandolo alquanto per far uscire una parte di questo liquido. Pesandolo di nuovo si otteneva il peso del mercurio uscito, e facendo raffreddare il rimanente sino a zero, si misurava la parte del tubo AB rimasta vuota di mercurio e se ne desumeva il volume di questo liquido

corrispondente al peso di quello che era uscito. Così, potevasi avere la misura del volume del mercurio rimasto nell'apparato, e per conseguenza, il volume del serbatojo per mezzo di quello stesso calcolo che conduce a determinare la capacità del piezometro (72).

Rimaneva da empire d'aria secca il serbatojo ed il tubo. A tal fine lo si empiva dapprima di mercurio (234) che facevasi bollire nel serbatojo medesimo per essiccarlo, poi si fissava all'estremo dell'asta, col mezzo d'un turacciolo, un tubo C pieno di sostanze essiccanti, per esempio di cloruro di calcio. Allora introducevasi nell'asta AB, attraverso al tubo C, un filo sottile di platino, che si agitava nel tubo, inclinando in pari tempo quest'ultimo in modo di farne effluire a goccia a goccia il mercurio col sussidio di leggiere scosse date all'apparecchio. L'aria rientrava allora a bolla a bolla nel serbatojo dopo essersi essiccata a contatto col cloruro di calcio. Finalmente, avevasi cura di conservare nel tubo AB un corto indice di mercurio.

Il termometro ad aria si disponeva nella vasca rettangolare di latta. Empita questa dapprima di ghiaccio fondentesi, l'aria si restringeva e l'indice B camminava verso il serbatojo A. Si notava il punto in cui esso restava stazionario, e così determinavasi il volume dell'aria a 0°, perchè la capacità del serbatojo era conosciuta. Allora toglievasi il ghiaccio, gli si sostituiva dell'acqua e si scaldava la vasca sopra un fornello. L'aria del serbatojo si dilatava e l'indice procedeva da A verso B. Notando, finalmente, il punto in cui esso si fermava, e nello stesso tempo la temperatura indicata dai due termometri D ed E, si conosceva il volume dell'aria e la sua temperatura.

Supponendo dapprima che la pressione atmosferica non avesse variato durante l'esperimento, e trascurando la dilatazione del vetro, che è piccolissima, si otteneva la dilatazione totale dell'aria nell'apparecchio col sottrarre dal volume che essa prendeva alla fine dell'esperimento, il suo volume, a 0°. Dividendo allora questa dilatazione per la temperatura finale, si aveva la dilatazione corrispondente ad 1°, e, dividendo, finalmente, pel numero delle unità contenute nel volume a 1°, ottenevasi la dilatazione corrispondente ad un solo grado e ad una sola unità di volume, cioè il coefficiente di dilatazione.

Nei problemi seguenti (270) si vedrà come si dovrebbero fare le correzioni di pressione e di temperatura, se

si volesse aver riguardo alla dilatazione del vetro ed alle variazioni di pressione atmosferica che avvenissero durante l'esperimento.

Coll'apparato che abbiamo descritto Gay-Lussac aveva trovato il coefficiente di dilatazione dell'aria eguale a 0,00375; ma in seguito, con metodi più precisi, si è riconosciuto che il vero valore del coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00367. Inoltre, Gay-Lussac aveva dato intorno alle dilatazioni dei gas le due leggi seguenti notabili per la loro semplicità:

1.ª *Tutti i gas hanno lo stesso coefficiente di dilatazione dell' aria.*

2.ª *Questo coefficiente ha sempre lo stesso valore qualunque sia la pressione a cui è soggetto il gas.*

Ma vedremo al paragrafo 271, che queste leggi non possono essere ammesse come esatte, e che esprimono soltanto in modo approssimativo il fenomeno della dilatazione dei gas.

270. Problemi sulla dilatazione dei gas. — I. Il volume di un gas è V a 0°; quale sarà a t gradi, supposto che α sia il coefficiente di dilatazione e che la pressione rimanga costante?

Si denomini V' il volume cercato. Richiamando la formola (5) del paragrafo 257 si ha:

$$V' = V + \alpha Vt, \text{ ossia } V' = V(1 + \alpha t) \quad (1).$$

II. Il volume di un gas è V' a t gradi; quale sarà il volume V a 0°, supposto che la pressione rimanga costante ed il coefficiente di dilatazione sia α?

Questo problema si risolve per mezzo della formola (6) del paragrafo 259, la quale dà:

$$V = \frac{V'}{1 + \alpha t} \quad (2).$$

III. Conoscendo il volume V di un gas a t gradi, vogliasi calcolare il suo volume V' a t gradi, ammesso che la pressione rimanga costante.

Bisogna dapprima ridurre il volume a 0° per mezzo della formola (2), onde si ha $\frac{V}{1+\alpha t}$; poi si riduce quest'ultimo volume da 0° a t gradi per mezzo della formola (1), e si ha finalmente

$$V' = \frac{V(1 + \alpha t)}{1 + \alpha t} \quad (3).$$

IV. Il volume di un gas, alla temperatura t gradi ed alla pressione H, è V: quale sarà il volume della stessa massa di gas a 0°, ed alla pressione 0m, 76?

Qui si hanno a fare due correzioni, una relativa alla temperatura, l'altra alla pressione. Si può cominciare indifferentemente dall'una o dall'altra. Se si fa dapprima la correzione di temperatura, il volume a 0^0, giusta la formola (2), sarà $\frac{V}{1+\alpha t}$ alla pressione H. Da questa pressione lo si riconduce alla pressione 0^m, 76, istituendo, dietro la legge di Mariotte (149), la proporzione

$$0,76 : H = \frac{V}{1+\alpha t} : V';$$

$$\text{da cui } V' = \frac{HV}{0{,}76\,(1+\alpha t)} \quad (4).$$

Per fare un'applicazione numerica, risolviamo il problema seguente; dati litri 8 d'aria a 25 gradi ed alla pressione 0^m, 74, si domanda quale ne sarà il volume a 0^0 ed alla pressione, 0^m, 76?

Facendo dapprima la correzione di pressione, si ha:

$$76 : 74 = 8 : x = \frac{74 \times 8}{76} = 7 \text{ lit. } 789$$

Il volume così ottenuto è alla pressione 0^m,76, ma ancora a 25^0. Per ridurlo a 0^0 si fa uso della formola (2) esposta di sopra, onde si ottiene il volume cercato

$$V' = \frac{7,789}{1+0{,}00366 \times 25} = \frac{7,789}{1{,}0915} = 7 \text{ lit. } 136.$$

Si potrebbe anche adoperare direttamente la formola (1), sostituendo ad H, V, α e t i loro valori

V. Un certo volume di gas a t gradi pesa P'; quale sarà il peso dello stesso volume di questo gas a 0^0?

Sia P il peso cercato, α il coefficiente di dilatazione del gas d' la sua densità a t gradi e d la sua densità a 0^0. A pari volume, essendo i pesi proporzionali alla densità, si ha $P' : P = d' : d$. Se si considera quella massa del dato gas il cui volume a 0^0 è 1, il suo volume a t gradi sarà $1+\alpha t$; ora, le densità essendo in ragione inversa dei volumi, si ha: $d' : d = 1 : 1+\alpha t$. Queste due proporzioni, che hanno un rapporto comune, danno $P' : P = 1 : 1+\alpha t$; da cui $P = P'(1+\alpha t)$.

Da quest'ultima equazione si deduce anche $P' = \frac{P}{1+\alpha t}$ formola che dà il peso αt gradi quando si conosce il peso a 0^0.

VI. Calcolare il peso P di azoto che sarebbe contenuto a 320 in un pallone di vetro il cui volume a 0^0 è litri 12,4, supposto che il coefficiente di dilatazione dell'azoto sia 0,003668, quello del vetro 0,00000861, e inoltre che il peso specifico dell'azoto sia 0,9714 e la pressione atmosferica sia eguale a 0^m, 76.

Si chiamino k il coefficiente di dilatazione del vetro, e V il volume del pallone a 0°; il suo volume a t gradi sarà $V(1 + 3kt)$ (252 e 257). Per trovare il peso di azoto contenuto in questo pallone, osserviamo che siccome un litro d'aria a 0° e alla pressione 0m, 76 pesa 1gr,3, un litro di azoto alla stessa temperatura e alla stessa pressione pesa 1gr, 3 × 0,9714, perchè il numero 0,9714 è il peso specifico dell'azoto rispetto all'aria: per conseguenza un litro di azoto a t gradi pesa $\frac{1^{gr},3 \times 0{,}9714}{1 + \alpha t}$ (probl. VI), ove con α è indicato il coefficiente di dilatazione dell'azoto. Adunque il peso richiesto è $\frac{1^{gr},3 \times 0{,}9714}{1 + \alpha t} \times V(1 + 3kt)$. Sostituendo in luogo di V, k, t ed α i loro valori, si trova $P = 14^{gr},025$.

271. **Metodo di Regnault.** — Regnault usò successivamente quattro processi per determinare il coefficiente di dilatazione dei gas. Negli uni la pressione era costante ed il volume variabile, come nel processo di Gay-Lussac; negli altri il volume rimaneva costante e la pressione poteva variare ad arbitrio. Noi descriveremo soltanto il primo processo seguito da Regnault. Di questo processo, nel quale la pressione è costanta, si erano

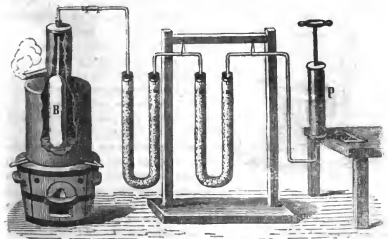



Fig. 193.

già serviti Dulong e Rudberg; ma le esperienze di Regnault furono istituite con speciali cautele per evitare le cause d'errore. Il suo apparato si compone di un serbatojo cilindrico B (fig. 193) di una certa capacità, a cui è saldato un tubo capillare ricurvo. Per empire questo serbatoio d'aria perfettamente secca, lo si dispone, come mostra la figura, in un vase di latta simile a un quello che serve a determinare il punto 100 dei termometri poi, per mezzo d'un tubo di gomma elastica, si collega l'asta capillare con

una serie di tubi ricurvi ed U pieni di sostanze essiccanti. Questi tubi vanno a terminare ad una piccola tromba ad aria per mezzo della quale si fa il vuoto in essi e nel serbatojo, mentre quest' ultimo è circondato di vapore d'acqua a 100°. Si lascia quindi rientrare lentamente l'aria, poi si fa il vuoto di nuovo, e questa operazione si ripete un gran numero di volte. Così si giunge ad essiccare perfettamente l'aria che trovasi nel serbatojo, perchè l'umidità che era aderente alle pareti si svolge in vapore alla temperatura di 100°, e l'aria che rientra ogni volta che si fa il vuoto è essiccata nel suo passaggio pei tubi ricurvi.

Ciò fatto, si lascia in riposo l'apparato per una mezz' ora affinchè l'aria assuma la temperatura del vapore acqueo, poi si tolgono i tubi che contengono le sostanze essiccanti e si chiude alla lampada l'estremità del tubo unito al serbatoio B, avendo cura di notare nello stesso tempo l'altezza barometrica H. Dopo che il serbatojo B è raffreddato, lo si pone nell'apparecchio rappresentato dalla figura 194, lo si circonda da ogni parte di ghiaccio per ridurre a 0° l'aria contenutavi, e si immerge l'estremità del tubo capillare in una vaschetta C piena di mercurio. Quando il serbatojo B è a 0°, si rompe con una piccola pinzetta la punta *b*. Essendosi condensata l'aria interna di questo serbatojo, il mercurio della vaschetta vi penetra per effetto della pressione atmosferica e si solleva ad un'altezza GC tale che, aggiunta alla forza elastica dell'aria rimasta nell'apparecchio, faccia equilibrio alla pressione atmosferica. Per misurare l'altezza della colonna GC, che rappresenteremo con h, si abbassa un'asta mobile *go* fino a che la punta *o* affiori la superficie del mercurio nella vaschetta, poi si misura col catetometro la differenza d'altezza tra la punta *g* ed il livello del mercurio in G. Aggiungendo a questa differenza la lunghezza dell'asta *go*, che è nota, si ha l'altezza h della colonna di mercurio GC. Si chiude, finalmente, con un po' di cera la punta *b*, e si nota la pressione indicata dal barometro. Rappresentando quest' ultima con H', la pressione nel serbatojo B è $H' - h$.

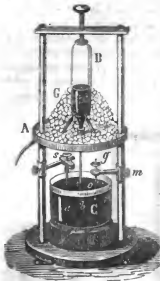



Fig. 194.

Prese queste misure, si toglie il serbatojo dal ghiaccio e lo si pesa per ottenere il peso P del mercurio che vi si è introdotto. Si empie poi tutto questo serbatojo di mercurio a 0° e si determina il peso P del mercurio contenuto nel serbatojo e nel tubo.

Indicando allora con k il coefficiente di dilatazione cubica del vetro, con α quello dell'aria e con D la densità del mercurio a 0°, si determina α col calcolo seguente. La capacità del serbatojo e del tubo a 0° è $\frac{P'}{D}$, giusta la formola

$P = VD$ (106); per conseguenza questa capacità, a t gradi, è $\frac{P'}{D}(1 + kt)$ (257, probl. V), alla pressione H corrispondente al momento in cui si chiuse il tubo alla lampada. Alla pressione 0m, 76, questo volume, giusta la legge di Mariotte, è $\frac{P'(1 + kt) H}{0{,}76 D}$ (1). Ora, giusta la formola $P = VD$, il volume d'aria che rimane nel serbatoio è rappresentato da $\frac{P' - P}{D}$ alla temperatura 0° ed alla pressione $H' - h$. Alla stessa pressione ed a t gradi questo volume sarebbe $\frac{P' - P}{D}(1 + \alpha t)$; ed alla pressione 0m, 76 esso diviene

$$\frac{(P' - P)(1 + \alpha t)(H' - h)}{0{,}76 . D} \quad (2).$$

Ora, i volumi rappresentati dalle formole (1) e (2) non sono altro che il volume del tubo e del serbatoio presi insieme, alla temperatura di t gradi ed alla pressione 0m76; dunque essi sono eguali. Sopprimendo pertanto il denominatore comune, si ha l'equazione

$$P'(1 + kt) H = (P' - P)(1 + \alpha t)(H' - h) \quad (3).$$

da cui si deduce il valore di α.

Operando così, Regnault ha trovato i seguenti coefficienti per le temperature da 0° a 100° e per pressioni comprese tra 0m, 20, e 0m, 50 di mercurio.

Idrogeno	0,0036678	Protossido di azoto	0,007719
Ossido di carbonio	0,003661	Cianogeno	0,0036821
Aria	0,003665	Acido solforoso	0,0036696
Acido carbonico	0,0036896		

Onde si scorge che i coefficienti di dilatazione dei gas non differiscono che di pochissimo gli uni dagli altri. Regnault inoltre ha constatato che, a pari temperatura, la dilatazione di un gas qualunque è tanto maggiore quanto più grande è la pressione a cui soggiace. Finalmente, questo scienziato osservò che i coefficienti di dilatazione di due gas differiscono tra loro tanto più quanto maggiori sono le pressioni a cui trovansi sottoposti.

272 Termometro ad aria. — Il *termometro ad aria*, come lo indica il suo nome, è fondato sulla dilatazione dell'aria. Il più semplice sarebbe il tubo capillare a bolla di cui si è servito Gay-Lussac per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas (fig. 192). Difatti, come, essendo nota la temperatura, si dedusse dallo spostamento dell'indice nel tubo il coefficiente di dilatazione dell'aria; reciprocamente, una volta che questo sia conosciuto, torna agevole il calcolare la temperatura corrispondente a ciascuno spostamento dell'indice. Ma il moto di quest'indice sarebbe sempre accompagnato

dalla stessa causa di errore che fece trovare a Gay-Lussac un coefficiente di dilatazione troppo grande e si otterebbero delle temperature troppo elevate. Perciò per termometro ad aria si preferisce un tubo simile a quello che servì per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas nell'apparato di Regnault (fig. 193 e 194). Operando con questo tubo, come nell'esperimento del paragrafo 271, si determinano le quantità P P', H, H' ed h che entrano nell'equazione (3) e siccome si conoscono α e k, si deduce da questa equazione la temperatura t a cui fu esposto il tubo.

Ma l'uso di questo termometro esige troppo tempo e troppe cure; epperò si preferisce generalmente il termometro a mercurio, ad asta od a peso. Nondimeno non bisogna perdere di vista che i termometri ad aria presentano sui termometri a mercurio due vantaggi importanti: 1.° sono molto più sensibili, essendo l'aria venti volte più dilatabile del mercurio; 2.° Mentre due termometri a mercurio di rado si accordano, tranne che da — 36 a 100 gradi (241), due termometri ad aria sono sempre comparabili fra loro; il che pure dipende dalla grande dilatazione dei gas, davanti alla quale sparisce la debole differenza di dilatazione dei diversi vetri di cui sono fatti i termometri.

Dietro le ricerche di Regnault, il termometro ad aria ed il termometro a mercurio si accordano sensibilmente sino a 240°, quando il vetro del termometro a mercurio sia di vetro comune; quando invece sia di cristallo, il disaccordo è maggiore, ed allorchè il termometro ad aria segna 350 gradi, il termometro a mercurio ne segna 360°,5.

273. **Pesi specifici dei gas relativamente all'aria.** — Il *peso specifico* o la *densità di un gas*, relativamente all'aria, è il rapporto del peso di un certo volume di questo gas a quello di un eguale volume d'aria prendendo il gas e l'aria ambedue a 0° ed alla pressione 0m, 76.

Dietro cosiffatta definizione, per conoscere la densità di un gas, bisogna cercare il peso di un certo volume di questo gas a 0° ed alla pressione 0m, 76, indi quello di un egual volume d'aria alla stessa temperatura ed alla medesima pressione, e dividere il primo peso pel secondo. A questo intento, si fa uso di un pallone di vetro di 8 a 10 litri di capacità il cui collo è munito di una chiavetta, che può applicarsi a vite sulla macchina pneumatica. Si pesa successivamente questo pallone vuoto, pieno d'aria indi pieno del gas di cui si cerca la densità, essiccando dapprima l'aria od il gas col processo seguito nell'uso dell'apparecchio rappresentato dalla fig. 193. Sottraendo da ciascuno dei pesi ottenuti nelle due ultime pesate quello del pallone vuoto, si ha il peso dell'aria e quello del gas a volumi eguali. Se nel decorso delle pesate la temperatura fosse sempre rimasta 0° e la pressione a 0m, 76,

non si avrebbe che a dividere il peso del gas pel peso dell'aria, ed il quoziente sarebbe la densità cercata. Ma il processo or ora indicato esige, in generale, molte correzioni per ridurre la temperatura dei due gas a 0^0 e la pressione a $0^m,76$, come anche per ridurre a 0^0 la capacità del pallone.

Per far queste correzioni, bisogna innanzi tutto usar l'avvertenza di operare sopra gas asciutti, al qual uopo, prima di introdurli nel pallone, si fanno passare sopra materie essiccanti. L'aria deve inoltre passare sopra della potassa caustica, onde perdere l'acido carbonico che contiene. Di più, siccome anche colle migliori macchine pneumatiche non si ottiene mai il vuoto perfetto, così, onde poter trascurare nelle pesate di far calcolo del gas che rimane nel pallone, si farà ogni volta il vuoto finchè il provino segna la stessa tensione e.

Ciò posto, si fa il vuoto nel pallone, indi vi si lascia rientrare dell'aria asciutta, e si ripete parecchie volte di seguito questa operazione finchè il pallone sia perfettamente essiccato. Facendo allora il vuoto un'ultima volta, fintanto che la provetta segni la tensione e, si determina il peso p del pallone vuoto. Si lascia allora rientrar l'aria lentamente attraverso a tubi, alcuni de' quali contengono del cloruro di calcio, altri della potassa; si pesa di nuovo e si trova che il peso del pallone pieno è P. Se si rappresenta con H l'altezza barometrica, e con t la temperatura al momento della pesata, $P-p$ sarà il peso deldell'aria contenuta nel pallone alla temperatura t ed alla pressione $H-e$.

Per ridurre questi pesi alla pressione 760 ed alla temperatura 0^0, siano α il coefficiente di dilatazione dell'aria e δ il coefficiente di dilatazione cubica del vetro. Giusta la legge di Mariotte, il peso, che è $P-p$ alla pressione $H-e$, alla pressione 760 sarà $(P-p)\frac{760}{H-e}$, essendo sempre t la temperatura. Ora se questa diventa 0^0, la capacità del pallone diminuisce nel rapporto $(1+\delta t)$ ad 1, mentre il peso del gas aumenta nel rapporto di 1 a $(1+\alpha t)$ come risulta dai problemi V e VI (267). Quindi il peso dell'aria contenuta nel pallone a 0^0 ed è alla pressione 760 è

$$(P-p).\frac{760}{H-e}.\frac{1+\alpha t}{1+\delta t}\ (1).$$

Siano del pari α il coefficiente di dilatazione del gas

di cui si cerca la densità, P' il peso del pallone pieno di questo gas alla temperatura t' ed alla pressione barometrica H', e, finalmente, p' il peso del pallone vuoto quando se ne estrasse il gas sino alla tensione e; il peso del gas contenuto nel pallone, alla pressione 760 ed alla temperatura 0° sarà rappresentato da

$$(P'-p')\frac{760}{H'-e}\,\frac{1+\alpha' t'}{1+\delta t'} \quad (2).$$

Quindi, dividendo la formola (2) per la formòla (1), si ha per la densità cercata

$$D=\frac{(P'-p')(H-e)(1+\alpha' t')(1+\delta t')}{(P-p)(H'-e)(1+\alpha t)(1+\delta t)},$$

formola che è indipendente dal volume del pallone.

Se, durante l'esperimento, la temperatura e la pressione non variano, si ha $D=\frac{(P'-p')}{(P-p)}\frac{(1+\alpha' t)}{(1+\alpha t)}$, e, finalmente, se supponiamo $\alpha=\alpha'$, risulta $D=\frac{P'-p'}{P-p}$.

274. **Metodo di Regnault per determinare la densità dei gas.** — Nel metodo ora descritto bisogna fare molte correzioni; Regnault le eliminò col seguente processo. Si prendono due palloni a chiavetta, fatti della stessa qualità di vetro e di volumi esterni pressochè eguali, indi si chiude il più grande con una tubulatura a chiavetta terminata da un uncino ed il più piccolo con una tubulatura senza chiavetta. In seguito si riempiono d'acqua i due palloni per terminare di renderne i volumi identici, e si sospendono ai piatti di una bilancia, usando l'avvertenza di stabilire l'equilibrio per mezzo di una tara. Immergendoli allora in una vasca piena d'acqua, l'equilibrio è rotto, ed il numero di grammi p, che bisogna aggiungere per ristabilirlo, rappresenta, in centimetri cubi, la differenza dei volumi dei due palloni (96). In seguito, si sospende all'uncino del pallone più piccolo un tubo di vetro chiuso, il cui volume esterno sia di p centimetri: conseguito così un sistema il cui volume è rigorosamente eguale a quello del pallone che si deve adoperare, si opera con quest'ultimo nel modo che fu antecedentemente descritto (273), pesandolo successivamente vuoto, pieno di aria e pieno del gas del quale si cerca la densità. Ma, in

ciascuna pesata, gli si fa equilibrio col secondo pallone, come mostra la figura 195. Inoltre i due palloni sono chiusi in una cassa di vetro, nella quale si colloca della calce viva per essiccare l'aria contenutavi. Con questa disposizione, qualunque siano la temperatura e la pressione, i due palloni vuoti o no, ma chiusi, subiscono sempre perdite di pesi eguali e che perciò si distruggono. Finalmente, quando si è empito il primo pallone d'aria, indi del gas di cui si cerca la densità, lo si colloca in un vase di zinco

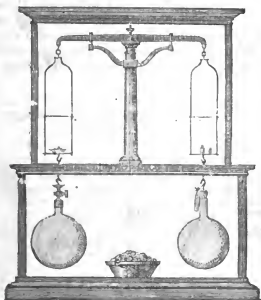



Fig. 195.

circondato di ghiaccio. Così esso si trova alla temperatura del ghiaccio fondentesi, ed avendo cura di non chiudere la chiavetta se non quando il gas introdotto è esso pure a 0°, si evitano le correzioni di temperatura. Non rimane allora che valutare i pesi dei due gas alla pressione 0m,76, dietro il principio che questi pesi sono proporzionali alle pressioni.

275. **Densità dei gas che attaccano l'ottone.** — Pei gas che attaccano l'ottone, come per esempio il cloro, non si può adoperare un pallone a chiavetta. Allora si adopera un vase che si possa chiudere con turacciolo smerigliato e nel quale si fa entrare il gas per un tubo ricurvo, che s'immerge sino al fondo del vase, avendo ri-

guardo di tenere quest'ultimo diritto o capovolto secondo che il gas che vi si introduce è più pesante o più leggiero dell'aria. Quando si reputa che tutta l'aria sia espulsa, si toglie il tubo e si chiude il vase. Allora, pesando quest'ultimo pieno di cloro, sia P il peso che si ottiene; sia parimenti p il peso del vase pieno d'aria. La differenza $P - p$ è evidentemente l'eccesso del peso del cloro su quello dell'aria ad eguale volume. Ora, essendo nota la capacità del vase, se ne deduce il peso dell'aria contenuta, e, aggiungendo questo peso alla differenza $P - p$, si otterrà il peso del cloro. Non rimane dunque che da dividere questo peso per quello dell'aria, avendo però cura di fare le correzioni di temperatura e di pressione necessarie per riferire i due pesi allo stesso volume, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione.

DENSITA' DEI GAS A 0° ED ALLA PRESSIONE 0m,76
PRENDENDO PER UNITA' QUELLA DELL'ARIA.

Aria	1,0000	Acido solfidrico	1,1912
Idrogeno	0,0692	Acido cloridrico	1,254
Idrogeno protocarbonato	0,559	Protossido d'azoto	1,527
Gas ammoniaco	0,5967	Acido carbonico	1,529
Ossido di carbonio	0,9670	Cianogeno	1,86
Azoto	0,9714	Acido solforoso	2,2474
Biossido di azoto	1,0390	Cloro	3,44
Ossigeno	1,1056	Acido iodidrico	4,443

CAPITOLO V.

CAMBIAMENTI DI STATO, VAPORI.

276. **Fusione, sue leggi.** — Tra i varii fenomeni che presentano i corpi assoggettati all'influenza del calorico, non si studiò fin qui che la loro dilatazione. Ora, considerando dapprima soltanto i solidi, è facile riconoscere che questa dilatazione ha un limite. Infatti, di mano in mano che un corpo assorbe calorico, la forza ripulsiva che quest'ultimo esercita tra le molecole va crescendo, e giunge un momento in cui l'attrazione molecolare è insufficiente a conservare il corpo allo stato solido. Allora si produce un nuovo fenomeno, la *fusione* cioè il passaggio dallo stato solido al liquido per l'influenza del calorico.

Però molte sostanze, quali la carta, il legno, la lana, certi sali, sotto l'azione d'una temperatura elevata, non si fondono ma vengono decomposte. Fra tutte le sostanze semplici, una sola, il carbonio, non potè essere fusa finora nemmeno colla azione delle più intense sorgenti di calore. Però, sottoponendo questa sostanza all'azione di una corrente elettrica assai energica, Despretz giunse a rammollirla sino al punto di renderla flessibile, indizio di uno stato vicino alla fusione.

L'esperienza c'insegna che la fusione dei corpi è costantemente soggetta alle due leggi seguenti:

1.ª *Ogni corpo entra in fusione ad una temperatura determinata ed invariabile.*

2.ª *Qualunque sia l'intensità della sorgente di calore, all'istante in cui incomincia la fusione di un corpo, la sua temperatura cessa di elevarsi, e rimane costante fino a che la fusione non sia terminata.*

TEMPERATURA DI FUSIONE DI VARIE SOSTANZE.

Sostanza		Sostanza	
Mercurio	−40°	Solfo	111°
Ghiaccio	0	Stagno	223
Sego	+33	Bismuto	264
Fosforo	44	Piombo	335
Sparmaceti	49	Antimonio	450
Potassio	55	Zinco	500
Acido margarico	57	Argento	1000
Stearina	60	Ghisa bianca	1100
Cera bianca	65	Ghisa grigia	1200
Acido stearico	70	Oro	1250
Sodio	90	Acciajo	1350
Lega di d'Arcet (1 di piombo, 1 di stagno, 4 di bismuto)	94	Ferro	1500

L'inglese Hopkins ha dimostrato con recenti esperienze che la temperatura di fusione cresce aumentando la pressione a cui il corpo è assoggettato. Le sostanze sulle quali egli fece le sue esperienze sono il solfo, la stearina, la cera e lo spermaceti.

Thompson ha osservato il contrario pel ghiaccio; cioè, che il punto di fusione di questa sostanza si abbassa allorchè aumenta la pressione. Epperciò si vede che la temperatura di fusione si abbassa, quando aumenta la pressione. D'onde risulta che la temperatura di fusione, per uno stesso corpo, non è fissa, come erasi ammesso finora, ma che varia colla pressione.

277. **Calorico latente**. — Siccome nel passaggio di un corpo dallo stato solido al liquido la temperatura

rimane invariata per tutto il tempo in cui si compie la fusione (276, 2.a), qualunque sia l'intensità della sorgente di calore, si deve conchiudere che i corpi, per cangiare di stato, assorbiscono una notabile quantità di calorico, il cui unico effetto è di mantenerli allo stato liquido. Questa quantità di calorico, che non agisce sul termometro e che si combina in certo modo colle molecole dei corpi, si distingue col nome di ***calorico latente*** o ***calorico di fusione.***

L'esperienza seguente serve a dare un'idea esatta di ciò che bisogna intendere per calorico latente. Se si mescola dapprima un chilogrammo di acqua a 0° collo stesso peso d'acqua a 79° si ottengono immediatamente due chilogrammi d'acqua a 39° 1/2, cioè ad una temperatura media tra quelle dei due liquidi mescolati, come era facile a prevedersi, atteso che ambedue erano della stessa natura ed in quantità eguali. Ma se si mescola 1 chilogrammo di ghiaccio frantumato con un egual peso d'acqua a 79°, il ghiaccio si fonde tosto e si ottengono 2 chilogrammi di acqua a 0°. Si vede quindi che, senza cangiare temperatura, un chilogrammo di ghiaccio, unicamente per fondersi, assorbe la quantità di calorico necessaria a scaldare da 0° a 79° un chilogrammo d'acqua. Questa quantità di calorico rappresenta adunque il calorico di fusione o il calorico latente del ghiaccio.

Ogni liquido ha un suo particolare calorico latente; quanto prima vedremo come si possa determinarlo coll'esperienza (344).

278. **Soluzione**. — Un corpo si *scioglie* quando si liquefa per effetto dell'attrazione mutua che si esercita tra le sue molecole e quelle d'un liquido. La gomma arabica, lo zuccaro, la maggior parte dei sali si sciolgono nell'acqua.

Durante la soluzione, come nella fusione, avviene assorbimento di una quantità maggiore o minore di calorico, il quale diventa latente. Per ciò la soluzione d'un sale determina, in generale, un abbassamento di temperatura. Nondimeno, in certe soluzioni accade che la temperatura rimanga costante od anche si elevi. Questo fatto si spiega osservando che accadono qui due fenomeni simultanei dai quali provengono effetti contrarii. Il primo è il passaggio dallo stato solido al liquido, il quale induce un abbassamento di temperatura; il secondo è la combinazione del corpo sciolto col liquido. Ora, ogni combinazione chimica è accompagnata da sviluppo di calore; per conseguenza, secondo che predomina l'uno o l'altro dei due effetti,

ovvero questi sono eguali, si produce freddo o caldo, oppure la temperatura rimane invariata.

279. **Solidificazione, sue leggi.** — La *solidificazione* è il passaggio dallo stato liquido al solido. Questo fenomeno è sempre soggetto alle due leggi seguenti, che sono le inverse di quelle della fusione e che si verificano colla esperienza.

1.a *La solidificazione accade, per ogni corpo, ad una temperatura fissa, che è precisamente quella della sua fusione.*

2.a *Dal momento in cui comincia la solidificazione fino al suo compimento, la temperatura del corpo rimane costante.*

Questa seconda legge proviene dal rendersi libero, durante la solidificazione, il calorico latente che era stato assorbito nella fusione.

Parecchi liquidi, come l'alcoole, l'etere, non si solidificano coi più intensi freddi a cui siasi potuto assoggettarli. Però col freddo prodotto da una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, di acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a dare all'alcoole una consistenza tale che esso non escì dal vase in cui era contenuto anche quando il vase venne capovolto.

280. **Cristallizzazione.** — In generale, i corpi che passano lentamente dallo stato liquido al solido assumono forme geometriche determinate, che si denominano *cristalli*, come sarebbero tetraedri, cubi, prismi o romboedri. Se il corpo che si solidifica trovasi in fusione, come il solfo od il bismuto, si dice che la cristallizzazione si fa per *via secca*, e se il corpo trovasi in soluzione in un liquido si dice che la cristallizzione si fa per *via umida*. Così avviene che i sali si ottengono cristallizzati lasciando evaporare lentamente i liquidi che li tengono in soluzione. Il ghiaccio, alla sua prima formazione, la neve, i sali ci offrono esempii di cristallizzazione.

281. **Formazione del ghiaccio.** — L'acqua distillata si solidifica a 0° e prende allora il nome di *ghiaccio*; ma la solidificazione, che in questo caso prende anche il nome di *congelazione*, avviene lentamente, perchè la parte che si solidifica cede il suo calorico latente alla residua massa liquida.

Il ghiaccio presenta il notabile fenomeno di essere meno denso dell'acqua liquida. Si è già veduto che col raffreddamento l'acqua si restringe soltanto sino a 4° (268), e che partendo da questa temperatura sino a 0° essa si di-

lata. La dilatazione poi è ancor maggiore al momento della congelazione, e si trova che il volume del ghiaccio è 1,075 di quello dell'acqua a 0°. In causa di questa dilatazione, la densità del ghiaccio è solo 0,930 di quella dell'acqua, epperò esso galleggia su questo liquido.

L'incremento di volume che prende il ghiaccio nella sua formazione è accompagnato da una considerabile forza espansiva, la quale può far scoppiare i vasi che lo contengono. Le pietre gelive che screpolano dopo il gelo presentano questo fenomeno per l'acqua che è penetrata nei loro pori e vi si è solidificata. Questo stesso incremento di volume rende il gelo nocivo alle piante, perchè la linfa, congelandosi, ne lacera i tessuti.

Williams, in Inghilterra, per dimostrare la forza espansiva del ghiaccio, collocò in una atmosfera di parecchi gradi inferiore allo zero una bomba piena d'acqua, dopo averne ben chiuso l'orificio con un turacciolo di legno. Al momento della congelazione questo turacciolo fu lanciato con forza a grande distanza e si formò un cercine di ghiaccio sul lembo dell'orificio.

282. **Ritardo della congelazione dell'acqua.** — La congelazione dell'acqua è ritardata dai sali e da altre sostanze ch'essa tenga in soluzione. L'acqua di mare, per esempio, non incomincia a solidificarsi che a — 2°,5.

Il punto di congelazione dell'acqua pura può essere abbassato di parecchi gradi, quando si privi questo liquido dell'aria che ordinariamente tiene in soluzione, e si conservi affatto tranquillo. Infatti, l'acqua posta in un vase cinto da una mescolanza frigorifera, e privata d'aria per mezzo della macchina pneumatica, può raffreddarsi sino a — 12°, ed anche di più senza solidificarsi. Ma allora, imprimendole una piccola scossa, tosto gela parzialmente e si osserva il singolare fenomeno che la temperatura della parte rimasta liquida ascende improvvisamente a 0°. Questo riscaldamento è dovuto al calorico latente, che divenne libero nella formazione del ghiaccio.

Può opporsi del pari alla congelazione dei liquidi una troppo rapida agitazione. Lo stesso effetto è prodotto da qualsiasi azione che, rendendo difficile il movimento delle molecole, impedisce che si raggruppino nelle condizioni necessarie allo stato solido. In tal modo Despretz potè raffreddare, entro tubi capillari sottilissimi, dell'acqua sino a — 20° senza che questa si congelasse. Quest'esperimento può servire a spiegare come le piante, entro

certi limiti, resistano al gelo, essendo sottilissimi i vasi capillari che contengono il succhio. Finalmente Mousson, in Germania, ha trovato che una potente compressione può ritardare non solo la congelazione dell'acqua, ma impedire che diventi completa.

283. **Mescolanze frigorifere.** — Si approfitta dell'assorbimento di calorico, ridotto allo stato latente dai corpi che passano dallo stato solido allo stato liquido (276), per produrre dei freddi artificiali più o meno intensi. Si ottiene questo risultato mescolando delle sostanze dotate di reciproca affinità e delle quali una per lo meno sia solida; come, per esempio, dell'acqua ed un sale, del ghiaccio ed un sale, un acido ed un sale. Allora l'affinità chimica accelera la fusione, e la parte che si fonde sottrae al resto della mescolanza una grande quantità di calorico, che diventa latente; d'onde risulta un abbassamento di temperatura talvolta assai considerabile.

La seguente tavola indica le proporzioni e la natura delle sostanze che si devono adoperare per ottenere un determinato abbassamento di temperatura.

Mescolanze frigorifere.

SOSTANZE	PARTI in peso	RAFFREDDAMENTO
Solfato di soda Acido cloridrico	8 5	+ 10° a — 17°
Ghiaccio frantumato o neve Sal marino	2 1	+ 10° a — 18°
Solfato di soda Acido azotico diluito	3 2	+ 10° a — 19°
Solfato di soda Azotato di ammoniaca Acido azotico diluito	6 5 4	+ 10° a — 26°
Fosfato di soda Acido azotico diluito	9 4	+ 10° a — 29°

Le mescolanze frigorifere sono frequentemente usate con vantaggio in chimica, in fisica, nell'industria e nell'economia domestica. Già da qualche anno si fabbrica un piccolo apparato, cui si dà il nome di *ghiacciaja di famiglia*, col quale si può ottenere del ghiaccio in qua-

lunque stagione, per mezzo di una soluzione di solfato di soda nell'acido cloridrico: 6 chilogrammi di questo sale e 5 di acido bastano per fornire in un'ora da 3 a 6 chilogrammi di ghiaccio. L'apparato consiste in un cilindro metallico diviso in quattro compartimenti concentrici. Nel compartimento centrale trovasi l'acqua che vuolsi ridurre in ghiaccio; nel contiguo si introduce la mescolanza frigofera; il terzo è pieno d'acqua, e, finalmente, il compartimento esterno contiene un corpo poco conduttore, come sarebbe del cotone, destinato ad impedire l'assorbimento del calorico esterno. La mescolanza frigorifera dà il migliore risultato quando è fatta a poco per volta.

VAPORI; MISURA DELLA LORO TENSIONE

284. **Vapori**. — Abbiamo già detto (125) che si chiamano *vapori* quei fluidi aeriformi in cui si trasformano molti liquidi, come l'etere l'alcoole, l'acqua, il mercurio, per mezzo di un assorbimento di calorico. Si chiamano liquidi *volatili* quelli che possedono la proprietà di passare per tal guisa allo stato aeriforme, e liquidi *fissi* quelli che non danno vapori a veruna temperatura: gli olii grassi sono liquidi fissi. Vi sono corpi solidi, come il ghiaccio, l'arsenico, la canfora, ed in generale le materie odorose, che forniscono dei vapori immediatamente, senza passare allo stato liquido.

I vapori sono trasparenti come i gas, e generalmente incolori; si conoscono soltanto pochi liquidi colorati, che danno vapori pure colorati.

285. **Vaporizzazione**. — Il passaggio di un corpo dallo stato liquido a quello di vapore si denomina, in generale, *vaporizzazione*; ma si chiama particolarmente *evaporazione* ogni produzione lenta di vapore alla superficie di un liquido, ed *ebollizione* una produzione rapida di vapore nell'interno d'una massa liquida. Vedremo quanto prima (297) che, sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, l'ebollizione, come la fusione, avviene soltanto ad una temperatura determinata. Altrettanto non può dirsi dell'evaporazione, la quale, anche per uno stesso liquido, avviene a temperature assai differenti. Però, oltre a un certo limite di raffreddamento sembra che cessi ogni evaporazione. Per esempio, il mercurio non dà più vapori al di sotto di — 10°, e l'acido solforico non ne produce al disotto di 30°.

286. **Forza elastica dei vapori.** — I vapori hanno come i gas, una forza elastica per la quale esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono una pressione più o meno considerabile. Per dimostrare la tensione dei vapori in modo che riesca assai sensibile all' occhio, si introduce una certa quantità di mercurio in un tubo di vetro curvato a sifone (fig. 196), indi, fatta passare nel ramo più corto, che è chiuso, una goccia di etere, si immerge il tubo in un bagno d' acqua a circa 45°. Allora il mercurio si abbassa lentamente nel ramo più corto, lo spazio AB si empie di un fluido aeriforme, che ha in tutto l' apparenza dell' aria, e la cui forza elastica fa evidentemente equilibrio alla colonna di mercurio CD ed alla pressione atmosferica che si esercita in D; ora, questo fluido aeriforme non è altro che vapore d' etere. Raffreddandosi l'acqua del vase, o togliendo dal bagno il tubo, il che produce lo stesso effetto, vedesi scomparire rapidamente il vapore che empie lo spazio AB e formarsi di nuovo la goccia d' etere. Se, al contrario, si scalda maggiormente l'acqua del bagno, il livello del mercurio discende al disotto del punto B, il che indica un aumento di tensione.

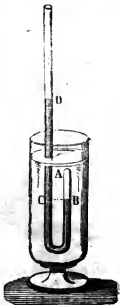



Fig 196.

287. **Formazione dei vapori nel vuoto.** — Nell'esperienza precedente il passaggio allo stato di vapore si effettua solo lentamente. Altrettanto avviene quando si espone all' aria libera un liquido volatile. In ambedue i casi la pressione atmosferica è di ostacolo alla evaporazione; ma la cosa va diversamente quando i liquidi trovansi nel vuoto. Allora, non essendo più opposta veruna resistenza alla forza elastica dei vapori, la formazione di questi ultimi è istantanea. Per dimostrarlo, si immergono parecchi tubi barometrici in uno stesso pozzetto (fig. 197), ed empiti questi tubi di mercurio se ne destina uno, per esempio, il tubo A, a servire di barometro, poi s'introducono alcune goccie d'acqua, d' alcoole e di etere rispettivamente nei tubi B, D, E. Si osserva che all' istante in cui il liquido in ciascuno di questi tubi entra nel vuoto barome-

trico, il livello del mercurio si abbassa, come mostra la figura. Ora, il mercurio non è depresso dal peso del liquido introdotto, perchè questo peso non è che una frazione piccolissima di quello del mercurio spostato, dunque ciascun liquido ha prodotto istantaneamente del vapore, la cui forza elastica depresse la colonna del mercurio.

Fig. 197.

Inoltre, nell'esperienza precedente si osserva che la depressione del mercurio non è la stessa nei tre tubi; essa è maggiore nel tubo in cui trovasi l'alcoole che in quello ove è l'acqua; e nel tubo che contiene l'etere è più grande che negli altri due. Possiamo dunque fin d'ora stabilire le due leggi seguenti sulla formazione dei vapori:

1.ª *Nel vuoto tutti i liquidi volatili vaporizzano istantaneamente.*

2.ª *A pari temperatura i vapori dei differenti liquidi non hanno la stessa forza elastica.*

Per esempio, a 20° la tensione del vapore d'etere è presso a poco 23 volte quella del vapore d'acqua.

288. **Vapore saturo, tensione massima.** — Un liquido volatile, per esempio, l'etere, introdotto in piccolissima quantità nel tubo di un barometro, vaporizza istantaneamente e compiutamente, e la colonna di mercurio non raggiunge la depressione totale che può subire; difatti, introducendo di nuovo nel tubo una tenue quantità d'etere, si vede crescere la depressione. Ora, continuando così, giunge un momento in cui l'etere che penetra nel tubo cessa di vaporizzarsi e vi rimane allo stato liquido. Adunque, per una temperatura determinata, la quantità di vapore che può formarsi in uno spazio dato ha un limite; quando un tal limite è raggiunto, si dice che questo spazio è *saturo.*

Notiamo inoltre che, dal momento in cui cessa la vaporizzazione dell'etere, cessa del pari la depressione del mercurio. Adunque v'è un limite anche per la tensione del vapore, il qual limite, come dimostreremo fra poco (291), varia colla temperatura, ma per una temperatura data è *indipendente dalla pressione.*

Per dimostrare che in uno spazio chiuso, saturo di vapore e in cui avvi un liquido *in eccesso*, quando rimanga costante la temperatura, v' è una *tensione massima* che il vapore non può oltrepassare, qualunque sia la pressione, si fa uso di un tubo barometrico immerso in una vaschetta profonda (fig. 197 *bis*). Fatta passare in questo tubo, riempito dapprima di mercurio, una quantità di etere sufficiente perchè, dopo satura la camera barometrica, vi rimanga ancora un eccesso di liquido, si misura l'altezza del mercurio nel tubo per mezzo d' una scala fissata alla vaschetta. Ora, in tal caso si osserva che tanto immergendo di più il tubo, per cui si comprime il vapore, quanto sollevandolo, il che serve a dilatarlo, l' altezza della colonna di mercurio rimane costante. Adunque la tensione del vapore è in ambedue i casi la stessa, poichè la depressione non cresce nè scema. D' onde si conchiude che il vapore contenuto in uno spazio saturo quando viene compresso ritorna in parte allo stato liquido, e che, se diminuisce invece la pressione, una porzione del liquido eccedente si vaporizza e lo spazio occupato dal vapore si satura di nuovo; ma in ambedue i casi la tensione e la densità del vapore rimangono costanti.

Fig. 197 *bis*.

289. **Vapori non saturi**. — Da quanto venne accennato nel precedente paragrafo, i vapori si presentano sotto due stati ben distinti, secondo che sono saturi o no. Nel primo stato, cioè di saturazione, nel quale si trovano in contatto col liquido che li produce, differiscono completamente dai gas, poichè ad una data temperatura non possono essere compressi nè dilatati, rimanendo costanti la loro forza elastica e la loro densità.

Nel secondo stato, invece, i vapori non saturi, e non alla presenza del liquido da cui traggono origine, sono pienamente comparabili ai gas e ne hanno tutte le proprietà. Di fatti, se ripetiamo l' esperimento indicato nel paragrafo 288 (fig. 197 *bis*.), introducendo nel tubo soltanto una piccolissima quantità di etere in modo che il vapore

che si produce non arrivi allo stato di saturazione, sollevando alquanto il tubo, vediamo che il livello del mercurio si innalza, d'onde ne deduciamo essere diminuita la forza elastica del vapore. Parimenti, se si sommerge maggiormente il tubo, rilevasi che il livello del mercurio si abbassa. Quindi il vapore si comporta appunto come un gas, diminuendo la sua tensione quando aumenta il suo volume e reciprocamente; e siccome sì nell'uno che nell'altro caso si osserva che il volume assunto dal vapore è in ragione inversa dalla pressione, si conchiude che *i vapori non saturi sono sottoposti alla legge di Mariotte.* Finalmente, se facciamo riscaldare un vapore non saturo, si osserva che il suo volume aumenta nella stessa proporzione di quello dei gas, e che il numero 0.0036, il quale rappresenta il coefficiente di dilatazione dell'aria, può rappresentare con molta approssimazione anche quello dei vapori.

Riassumendo, risulta quindi che i vapori non saturi sono tutt'affatto comparabili ai gas, e che a questi vapori si possono applicare tutte le formole relative alla compressibilità e dilatabilità dei gas (151 e 270). Ma bisogna non dimenticare esservi sempre un limite di pressione o di raffreddamento per cui i vapori non saturi passano allo stato di saturazione, e che allora hanno un massimo di tensione e di densità, il quale, trovandosi essi in contatto col proprio liquido produttore, non può essere sorpassato se non si innalza in pari tempo la temperatura.

290. Tensione del vapore d'acqua al di sotto di zero. — Per misurare la forza elastica del vapore d'acqua al di sotto di zero, Gay-Lussac si servì di due tubi barometrici pieni di mercurio ed immersi in una stessa vaschetta (fig. 198). Uno di essi, perfettamente privo d'aria e di umidità, serviva a misurare la pressione atmosferica; nell'altro erasi introdotta una piccola quantità d'acqua, ed inoltre la sua camera barometrica era cinta da un piccolo cilindro nel quale trovavasi una mescolanza frigorifera (283). Ora, facendo passare un poco d'acqua nel tubo ricurvo, si osserva che il livello del mercurio in questo tubo si abbassa al di sotto del livello nel tubo A di una quantità che varia secondo la temperatura della mescolanza frigorifera.

A 0° l'abbassamento è di mill.	4,60
— 10	1,96
— 20	0,84
— 30	0,30

Questi abbassamenti sono evidentemente prodotti dalla tensione del vapore che si forma nella camera barometrica B C, e dimostrano che anche a temperature assai basse si produce ancora vapore d'acqua.

È bensì vero che, nell'esperimento precedente, la parte C della camera barometrica, dove trovasi il vapore, non ha la stessa temperatura della parte B circondata dalla mescolanza frigorifera; ma vedremo quanto prima (295) che, quando due vasi comunicati fra loro si trovano a temperature diseguali, la tensione del vapore è la stessa in ambedue e corrisponde sempre alla temperatura più bassa.

291. **Tensione del vapore d'acqua tra 0° e 100°.** — 1.° *Processo di Dalton.* Dalton, fisico inglese, morto

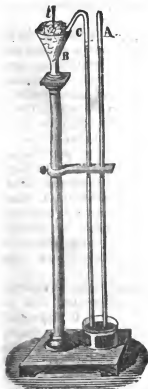
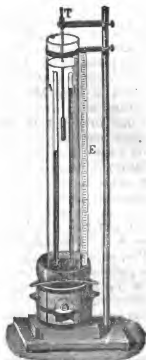



Fig. 198. *Fig.* 199 ($a = 107$).

nel 1844, misurò la forza elastica del vapore da 0° a 100°

col mezzo dell'apparecchio rappresentando dalla fig. 199. Due tubi barometrici A e B pescano in un catino di ghisa pieno di mercurio e collocato sopra un fornello. Il barometro B è compiutamente privo d'aria e di umidità, e nel barometro A trovasi una piccola quantità di acqua. Questi due barometri sono contenuti in un vase cilindrico di vetro pieno d'acqua, nel centro del quale è immerso un termometro T, che fa conoscere la temperatura del liquido. Scaldando gradatamente il catino, e per conseguenza l'acqua del vase, quella che trovasi nel tubo A si vaporizza, e, di mano in mano che cresce la tensione del vapore, il mercurio si abbassa. Notando di grado in grado sopra una scala E la depressione che avviene nel tubo A al di sotto del livello B, Dalton costrusse, pel primo, una tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua da 0° sino a 100°.

2.° *Processo di Regnault.* L'apparato di Dalton dà risultati poco precisi, perchè l'acqua del vase non può essere conservata esattamente alla stessa temperatura in tutta la sua altezza, e quindi non si può conoscere precisamente la temperatura del vapore. Regnault ha modificato quest'apparecchio sostituendo al vase cilindrico una cassa di lamiera di ferro MN (fig. 200) il cui fondo porta due tubulature, nelle quali si introducono le estremità superiori dei due tubi A e B, che vi sono fermate per mezzo di gomma elastica. Il tubo B è congiunto ad un pallone *a*, della capacità di circa mezzo litro, per mezzo di una tubulatura di rame a tre braccia, rappresentata in O, alla destra della figura. Il terzo braccio di questa tubulatura è congiunto, mediante mastice, ad un tubo di vetro che sbocca in un tubo D pieno di pietra pomice imbevuta di acido solforico e comunicante, col mezzo di un ultimo tubo *b*, colla macchina pneumatica.

Per esperimentare con quest'apparecchio, si introduce nel pallone *a* una piccola quantità di acqua, una parte della quale viene fatta distillare nel tubo B, riscaldando leggiermente il pallone. Facendo allora il vuoto colla macchina pneumatica, l'acqua distilla senza interruzione dal pallone e dal tubo barometrico verso il tubo D, il quale condensa i vapori. Quando, dopo di avere in tal modo fatto vaporizzare parecchi grammi di acqua, si arguisce che è stata strascinata tutta l'aria contenuta nell'apparato, si chiude alla lampada il tubo capillare che congiunge il tubo B, alla tubulatura a tre braccia. Allora che il tubo B è

chiuso e contiene tuttavia un poco d'acqua, si esperimenta come coll'apparato di Dalton.

Per ciò si riempie la cassa MN di acqua, che si scalda dolcemente con una lampada ad alcoole, che le si colloca di sotto, ponendo tra la fiamma ed i tubi una tavoletta di legno. Con un agitatore K si mescolano costantemente i

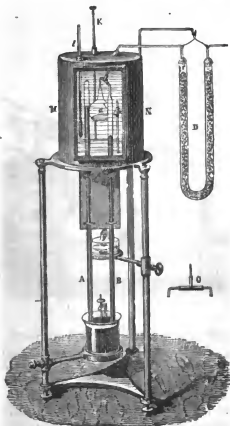



Fig. 200.

diversi strati del liquido allo scopo di ottenere una temperatura uniforme in tutte le parti del bagno nel quale sono posti i due tubi barometrici. Traverso una lastra di vetro, incastrato nelle pareti della cassa, si può osservare per mezzo del catetometro, l'altezza del mercurio nei tubi; dalla differenza di queste altezze, ricondotte a zero, si deduce la tensione del vapore. Per mezzo di questo appa-

rato Regnault misurò con precisione la forza del vapore d'acqua da zero a 50 gradi.

292. **Tensione del vapore d'acqua al di sopra di 100° determinata da Dulong ed Arago.** — Due processi sono stati seguiti per misurare la forza elastica del vapore d'acqua a temperature superiori a 100°, l'uno da Dulong ed Arago nel 1830, l'altro da Regnault nel 1844.

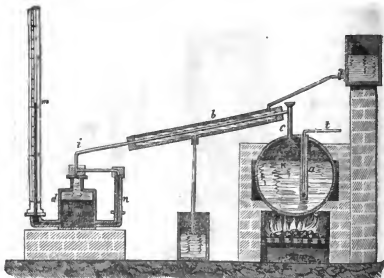



Fig. 201.

La figura 201 rappresenta una sezione verticale dell'apparecchio di cui si servirono Dulong ed Arago, per misurare la forza elastica del vapore d'acqua al di sopra di 100°. Questo apparecchio consisteva in una caldaia K di rame della capacità di 80 litri ed a pareti assai robuste. Due canne da fucile *a*, delle quali una sola è visibile nella figura, erano immerse nell'acqua contennta nella caldaja, alle pareti della quale erano saldamente fissate. Queste canne, chiuse alle loro estremità inferiori, erano piene di mercurio nel quale trovavansi dei termometri *t*, che davano la temperatura dell'acqua e del vapore nell'interno della caldaja. Per misurare la tensione del vapore, la caldaia era posta in comunicazione con un manometro ad aria compressa *m* graduato dapprima sperimentalmente e disposto sopra una vaschetta di ghisa *d*

piena di mercurio. Per conoscere l'altezza del mercurio nella vaschetta, questa era posta in comunicazione, alla sua parte superiore ed alla inferiore, con un tubo di cristallo *n* nel quale il mercurio si disponeva sempre allo stesso livello che nella vaschetta. Finalmente, la parte superiore della vaschetta comunicava per mezzo di un tubo di ottone *i* con una canna verticale *c*, per la quale esciva direttamente il vapore dalla caldaja. Il tubo *i* e la parte superiore della vaschetta *d* erano pieni d'acqua, che si manteneva sempre a bassa temperatura facendo circolare attorno al tubo dell'acqua fredda, la quale effluiva da un serbatojo che si vede rappresentato in alto al lato destro della figura.

La pressione del vapore che si svolgeva pel tubo *c*, esercitandosi sull'acqua del tubo *i*, trasmettevasi all'acqua ed al mercurio della vaschetta *d*, e quindi il mercurio era spinto in alto entro il manometro. Prendendo di grado in grado le temperature segnate dai termometri, ed osservando nel medesimo tempo il manometro, Dulong ed Arago hanno misurato direttamente la tensione del vapore d'acqua sino a 24 atmosfere. Col calcolo essi l'hanno in seguito valutata sino a 50.

293. **Tensione del vapore d'acqua al disotto e al di sopra di 100° secondo Regnault.** — Col processo di Regnault si può misurare la tensione del vapore tanto al di sotto quanto al di sopra di 100°. Questo processo consiste nel far bollire dell'acqua in un vase chiuso, sotto una pressione conosciuta, e misurare la temperatura alla quale si produce la ebollizione. Partendo allora dal principio che al momento della ebollizione la forza elastica del vapore che si volge è precisamente eguale alla pressione a cui è sottoposto il liquido (296), si conosce la tensione del vapore e la temperatura corrispondente, epperò la questione è risolta.

L'apparecchio si compone di un vase di rame C (fig. 202) esattamente chiuso e ripieno d'acqua fino ad un terzo all'incirca. Quattro termometri attraversano il coperchio; due si immergono negli strati superiori del liquido, e gli altri due negli strati inferiori. Dal serbatoio C parte un tubo AB che si adatta all'apertura di un pallone di vetro M della capacità di 24 litri e pieno d'aria. Il tubo A B è circondato da un altro tubo D nel quale circola una corrente d'acqua fredda che effluisce da un serbatoio E. Alla parte superiore del pallone M sono applicati due tubi,

uno dei quali comunica con un manometro O ad aria libera, vicino all'apparecchio; l'altro HH', che è di piombo, comunica con una macchina pneumatica o con una tromba premente, secondo che si vuole rarefare l'aria nel pallone o comprimervela. Finalmente, il serbatoio K, nel quale si trova il pallone, è pieno d'acqua alla temperatura ambiente.

Supponiamo che si tratti dapprima di misurare la forza elastica del vapore di acqua al di sotto di 100°. Si fissa

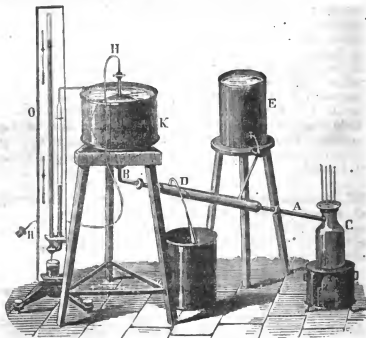



Fig. 202. ($a = 170$).

l'estremità H' del tubo di piombo al condotto d'una macchina pneumatica, e con questa si rarefa l'aria nel pallone M, e per conseguenza nel vase C. Riscaldando allora lentamente questo vase, l'acqua ch'esso contiene bolle ad una temperatura tanto più al di sotto di 100° quanto più è rarefatta l'aria, cioè quanto minore è la pressione che si esercita sul liquido. D'altronde, condensandosi il vapore AB, che è raffreddato in modo costante, la pressione indicata a principio dal manometro non cresce, il che dimostra che la tensione del vapore, durante la ebollizione, rimane eguale alla pressione esercitata sul liquido.

Consultando allora da un lato il manometro e dall'altro i termometri immersi nella caldaja, si determina la tensione del vapore corrispondente ad una nota temperatura. Lasciando indi rientrare un po' d'aria nei tubi e nella caldaja, per aumentare la pressione, si fa una nuova osservazione, e così si continua fino a 100°.

Se trattasi di misurare la forza elastica del vapore di acqua al di sopra di 100°, si mette l'apertura H' in comunicazione con una tromba di compressione, per mezzo della quale si assoggetta l'aria del pallone e della caldaja a pressioni successive superiori a quella dell'atmosfera. L'ebollizione allora è ritardata (296), e basta osservare simultaneamente il manometro ed i termometri per conoscere la tensione del vapore che corrisponde ad una temperatura superiore a 100°.

Le seguenti due tabelle danno la tensione del vapore acqueo, secondo Regnault, da — 30° a 100° e da 100° a 230°. La prima tabella è stata stesa per mezzo dell'apparato poc'anzi descritto.

La seconda tabella è stata calcolata per mezzo della formola d'interpolazione

$$\log F = a + b\alpha^t + c\beta^t,$$

nella quale F rappresenta la forza elastica del vapore, t la sua temperatura, ed a b c, α, β delle costanti che si calcolano determinando dapprima coll'esperienza cinque valori di F, cioè cinque forze elastiche corrispondenti a temperature conosciute, la quale determinazione dà altrettante equazioni quante sono le incognite.

Tensioni del vapore d'acqua da — 30° *a* 100°,
secondo Regnault.

TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a 0°	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a 0°	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a 0°	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a 0°
— 30	0.365	5	6,534	40	54,906	75	288,517
— 25	0,553	10	9,165	45	71,391	80	354,643
— 20	0 841	15	12,699	50	91,982	85	433,041
— 15	1,284	20	17,391	55	117,478	90	52 ,450
— 10	1,963	25	23.750	60	148,791	95	533,778
— 5	3,004	30	31,548	65	186.945	100	760,000
— 0	4,600	35	41.827	70	233,093		

Tensioni del vapor d' acqua in atmosfere, da 100° *a* 230°,9,

secondo Regnault.

TEMPERATURE	NUMERO di atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO di atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO di atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO di atmosfere
100.0	1	170,8	8	198.8	15	217.9	22
120 6	2	175.8	9	201,9	16	220,3	23
133.9	3	180,3	10	20[illegible].9	17	222,5	24
144.0	4	184.5	11	207.7	18	224,7	25
152 2	5	188.4	12	210.4	19	226,8	26
159,2	6	192.1	13	213 0	20	228.9	27
165,3	7	195.5	14	215,5	21	230,9	28

Queste tavole mostrano che la forza elastica del vapore d'acqua cresce molto più rapidamente che la temperatura, ma la legge del suo incremento non si conosce. L'esperienza ci ha, inoltre, insegnato che le sostanze in soluzione, come i sali, gli acidi, rendono minore, a parità di temperatura la forza elastica del vapore acqueo, e tanto più quanto più è concentrata la soluzione.

294. Tensione dei vapori di diversi liquidi. — Il vapor d'acqua, a motivo delle sue numerose applicazioni, è stato principalmente il soggetto delle ricerche dei fisici; ma Ragnault, cogli stessi processi di cui si è servito per misurare la forza elastica del vapore acqueo, determinò pure quelle dei vapori di un certo numero di liquidi. La seguente tabella, la quale rappresenta alcuno dei risultati ottenuti da questo scienziato, mostra come, a temperatura eguale, differisca la tensione dei vapori dei diversi liquidi.

LIQUIDI	TEMPERATURA	TENSIONE IN MILLIMETRI DI MERCURIO	LIQUIDI	TEMPERATURA	TENSIONE IN MILLIMETRI DI MERCURIO
Mercurio	0	0,02	Etere	— 20	67
	50	0,11		0	183
	100	0,74		60	1728
				100	4951
Alcoole	0	13	Acido solforoso	— 20	374
	50	22		0	1165
	100	1495		60	8124
Solfuro di carbonio	— 10	43	Ammoniaca	— 30	441
	0	132		— 20	4273
	60	1164		0	7709
	100	3329			

295. **Tensioni in due vasi comunicanti a diverse temperature.** — Quando vengono posti in comunicazione due vasi chiusi che contengono uno stesso liquido a temperature diseguali, la tensione comune del vapore in questi due vasi non è, come si potrebbe supporre, la media di quelle già esistenti in ciascun vase. Se, per esempio, si hanno due globi, uno dei quali, A (fig. 203),

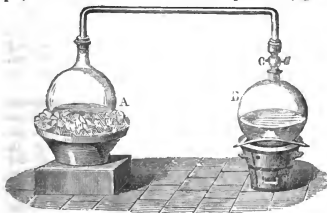



Fig. 203.

contenga dell'acqua e sia circondato di ghiaccio, onde questa si conservi a zero, l'altro, B, in cui si trovi dell'acqua

a 100°, finchè i due globi non comunicano fra loro, la tensione, giusta le tavole precedenti, è di milimetri 4,6 nel primo e 760 nel secondo. Ma appena che si stabilisce la comunicazione, aprendo la chiavetta C, il vapore del globo B, per l'eccesso della sua tensione, si precipita nel globo A; e siccome quest'ultimo è mantenuto a zero, vi si condensa immediatamente, di maniera che il vapore non può conservare nel globo B una tensione superiore a quella del vapore del globo A, cioè a quella che corrisponde alla temperatura zero.

Si può dunque stabilire questo principio generale che *quando due vasi contenenti uno stesso liquido in eccesso, ed a temperature diseguali, comunicano tra loro, la tensione del vapore è la stessa in ambedue i vasi ed eguaglia quella che corrisponde alla più bassa delle due temperature.* Vedremo in seguito l'applicazione che fu fatta di questo principio da Watt al condensatore dalle macchine a vapore.

296. **Evaporazione, cause che la accelerano.** — Si è già veduto (285) che per *evaporazione* si intende una produzione lenta di vapore alla superficie di un liquido. Per evaporazione spontanea vediamo le stoffe bagnate essiccarsi all'aria, ed a capo d'un certo tempo scomparire affatto l'acqua di cui era pieno un vase aperto. L'evaporazione che avviene alla superficie dei mari, dei laghi, dei fiumi e del suolo fornisce i vapori che salgono nell'atmosfera, vi si addensano in nubi e si risolvono in pioggia.

Quattro cause influiscono sulla celerità della evaporazione di un liquido: 1.ª la temperatura; 2.ª la quantità di vapore dello stesso liquido già diffuso nell'atmosfera ambiente; 3.ª il rinnovamento di questa atmosfera; 4.ª l'estensione della superficie evaporante.

L'incremento di temperatura accelera l'evaporazione perchè produce nei vapori una maggiore forza elastica.

Per intendere l'influenza della seconda causa, notiamo che la evaporazione d'un liquido sarebbe nulla in uno spazio saturo del vapore dello stesso liquido, e che arriverebbe al suo massimo in uno spazio compiutamente privo di questo vapore. Ne segue che tra questi due casi estremi la celerità dell'evaporazione varia secondo che l'atmosfera ambiente trovasi più o meno carica dei vapori del liquido.

L'effetto del rinnovamento dell'atmosfera si spiega nello stesso modo; perchè se l'aria, od il gas che circonda il

liquido, non si rinnova, si satura ben presto ed ogni evaporazione cessa.

L'influenza della quarta causa è evidente.

297. Ebollizione, sue leggi. — Si chiama *ebollizione* una produzione rapida di vapore, in bolle più o meno grosse nella massa d'un liquido.

Quando si scalda un liquido, per esempio dell'acqua, alla sua parte inferiore, le prime bolle che si svolgono sono costituite dall'aria che trovavasi in soluzione. Ben presto poi sorgono delle piccole bolle di vapore da tutti i punti scaldati della parete; ma queste bolle, attraversando gli strati superiori più freddi, vi si condensano prima di giungere alla superficie. Questa formazione e questa condensazione successive delle prime bolle di vapore cagionano quel fremito che procede ordinariamente l'ebollizione. Finalmente, grosse bolle s'innalzano e scoppiano alla superficie, il che costituisce il fenomeno della ebollizione (fig. 204).

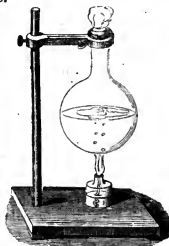



Fig. 204.

Tutti i liquidi capaci di entrare in ebollizione offrono le due seguenti leggi che si possono constatare coll'esperienza:

1.ª *L'ebollizione comincia soltanto ad una temperatura determinata, che varia da un liquido all'altro, ma, a parità di pressione, è sempre la stessa per un medesimo liquido.*

2.ª *Qualunque sia l'intensità della sorgente di calore, dal momento in cui comincia l'ebollizione la temperatura rimane stazionaria.*

Temperature di ebollizione alla pressione 0^m, 76.

Acido solforoso	— 10	Olio essenziale di trementina	150
Etere cloridrico	11	Fosforo	290
Acido solforico anidro	25	Acido solforico concentrato	325
Etere solforico	37	Mercurio (col termom. ad aria)	350
Solfuro di carbonio	48	Solfo	440
Cloroformio	63.5	Cadmio (Sainte-Claire Deville e Troost)	860
Alcoole	79	Zinco (idem)	1040
Acido azotico monoidrato	86		
Acqua distillata	100		

Parecchie cause possono far variare la temperatura di ebollizione di un liquido, cioè le sostanze che vi sono sciolte, la natura del vase e la pressione. Esporremo qui successivamente gli effetti di queste differenti cause, particolarmente sull'acqua.

298. **Influenza delle sostanze sciolte sulla temperatura di ebollizione.** — Quando è sciolta in un liquido una sostanza non volatile, o volatile meno del liquido, l'ebollizione è ritardata tanto maggiormente quanto più prossimo è il liquido allo stato di saturazione. L'acqua che bolle a 100° quando è pura, satura dei differenti sali sotto indicati, bolle alle temperature seguenti:

L'acqua satura di sale marino bolle a . . .	109°
di azotato di potassa	116
di carbonato di potassa . . .	135
di cloruro di calcio	179

Analoghi risultati presentano le soluzioni acide: ma le sostanze tenute soltanto in sospensione in un liquido, come le materie terrose, la segatura di legno, non ne innalzano la temperatura di ebollizione.

Importa richiamare qui le esperienze di Rudberg già citate alla pagina 233, nelle quali questo scienziato constatò che quando la temperatura di ebollizione dell'acqua è superiore a 100°, per effetto di sostanze ch'essa tiene in soluzione, la temperatura del vapore che si svolge sotto la pressione 0m, 76 è però sempre 100°, come se l'acqua fosse pura.

299. **Influenza della natura dei vasi sulla temperatura di ebollizione.** Gay-Lussac osservò che in un vase di vetro l'acqua bolle ad una temperatura più alta che in un vase di metallo; il quale fenomeno egli attribuì all'affinità del vetro per l'acqua. Prendendo per 100° la temperatura dell'acqua distillata che bolle in un vase di rame, alla pressione 0m, 76, egli trovò che ad eguale pressione questo liquido comincia a bollire in un vase di vetro soltanto a 101°, e quando il vase di vetro è bene ripulito coll'acido solforico concentrato o colla potassa, la temperatura dell'acqua può anche innalzarsi a 105 o 106 gradi. Però basta un semplice frammento di metallo posto al fondo del pallone per ricondurre la temperatura dell'ebollizione a 100°. Questo artifizio serve anche ad impedire i sussulti violenti che accompagnano l'ebollizione delle soluzioni saline od acide nei vasi di vetro.

Come la presenza di sostanze sciolte, così anche la temperatura a cui giunge l'acqua nei vasi di vetro non esercita alcuna influenza sulla temperatura del vapore, cioè alla pressione $0^m,76$ essa è ancora 100° come nei vasi di rame.

300. **Influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione.** — Giusta le tavole delle forze elastiche date precedentemente (pag. 293), a 100° il vapore dell' acqua distillata, che a quella temperatura bolle sotto la pressione $0^m,76$, ha una tensione precisamente eguale a questa pressione. Tale principio è generale e si può enunciare così: *Ogni liquido entra in ebollizione soltanto allorchè la tensione del suo vapore è eguale alla pressione cui trovasi sottoposto.* Ciò essendo, si comprende come, aumentando o diminuendo questa pressione, la tensione del vapore, e quindi la temperatura necessaria per l'ebollizione, debba crescere o scemare.

Per dimostrare che la temperatura di ebollizione si abbassa quando la pressione decresce, si colloca sotto la campana della macchina pneumatica una capsula contenente dell'acqua a 30° circa, poi si fa il vuoto. Si vede tosto il liquido entrare in ebollizione con grande rapidità quantunque in un vase chiuso, perchè il vapore viene aspirato dalla macchina di mano in mano che si forma.

Fig. 205

Si può fare lo stesso esperimento senza aver bisogno della macchina pneumatica. A tal uopo si fa bollire per alcuni istanti dell' acqua in un pallone di vetro, che si chiude poi esattamente e si capovolge, come mostra la figura 205, quando si arguisce che i vapori, i quali si sviluppano abbiano strascinata seco tutta l' aria contenuta nel pallone. Se allora si raffredda la parte superiore del pallone con una spugna imbevuta di acqua fredda, i vapori si condensano, si forma il vuoto e si produce una viva ebollizione.

Sulle alte montagne, per effetto della diminuzione della pressione atmosferica, l'acqua bolle al di sotto di 100°. Sul Monte Bianco, per esempio, questo liquido entra in ebollizione ad 84°.

Se, al contrario, la pressione cresce, l'ebollizione è ritardata. L'acqua, per esempio, quando la pressione è di due atmosfere, entra in ebollizione soltanto a 120°,6.

301. **Bollitore di Franklin.** — Si dimostra l'influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione anche per mezzo del *bollitore di Franklin*. Questo piccolo apparato è di vetro, e si compone di una sfera cava *a* (fig. 206), la quale, per mezzo di un tubo di piccolo diametro, comunica con un tubo *b*. Entro questo tubo, tirato in punta alla sua estremità superiore, si introduce, prima di chiuderlo, dell'acqua; indi, fatta passare questa nella sfera *a*, la si fa bollire scaldando la sfera con una lampada ad alcoole. Quando si crede che i vapori prodotti dall'ebollizione, nello svolgersi, abbiano strascinata tutta l'aria che trovavasi nell'apparato, si chiude l'estremità del tubo *b*, fondendola alla lampada. Allora, l'apparecchio essendo vuoto, od almeno privo di aria, l'acqua non sostiene altra pressione che quella del suo vapore, la quale, alla temperatura ordinaria, è debolissima. Ne segue che il solo calore della mano, da cui venga coperta la sfera *a*, fa acquistare al vapore una tensione che spinge l'acqua nel tubo *b*, e vi produce una viva ebollizione.

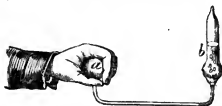



Fig. 206.

302. **Misura dell'altezza delle montagne desunta dalla temperatura di ebollizione.** — Per misurare l'altezza delle montagne possiamo adoperare il termometro invece del barometro, fondandoci sul rapporto che esiste fra la temperatura di ebollizione e la pressione. Infatti, osservando, per esempio, che l'acqua bolle a 90° sulla cima di una montagna ed a 98° alla sua base, e cercando nelle tabelle delle forze elastiche le tensioni corrispondenti, si trovano dei numeri che rappresentano in millimetri la forza elastica del vapore all'istante in cui questo si sviluppa alla sommità ed alle falde della mon-

tagna e quindi la pressione atmosferica alla quale è sottoposta l'acqua bollente alle due stazioni. In tal modo conoscendo l'altezza del barometro alla cima ed alla base della montagna, si applicano facilmente le formole già indicate per misurare col mezzo del barometro l'altezza delle montagne (148).

Per seguire questo metodo bisogna far uso di termometri sensibilissimi, graduati soltanto da 80 a 100 gradi circa, di modo che, occupando ciascun grado una grande estensione sulla scala, si possono valutare i decimi ed anche i ventesimi di grado. Su questo principio è costrutto il *termometro ipsometrico* di Regnault, la cui asta è graduata soltanto da 85 a 100 gradi, essendo poi ciascun grado diviso in 10 parti eguali. Per l'uso di questo termometro Regnault costruì delle tavole, che danno la tensione dei vapori d'acqua per ciascun decimo di grado da 85 a 101.

303. **Produzione del vapore in un vase chiuso.** — Finora abbiamo supposto che i vapori si producessero in uno spazio indefinito nel quale potessero espandersi liberamente. L'ebollizione non può avvenire se non a questa condizione. In un vase chiuso, i vapori che si producono non trovano via a sfuggire, epperò la loro tensione e la loro densità crescono di mano in mano colla temperatura: ma lo svolgimento rapido che costituisce l'ebollizione non è più possibile. Per conseguenza, mentre in un vase aperto la temperatura d'un liquido non può sorpassare quella della sua ebollizione, in un vase chiuso, al contrario, essa può innalzarsi molto di più. Lo stato liquido però ha un limite, perchè, secondo le esperienze di Cagniard-Latour, se si introduce dell'acqua, dell'alcoole o dell'etere in robusti tubi di vetro, che si chiudono alla lampada dopo averne scacciata l'aria coll'ebollizione, si osserva che, esponendoli ad una sorgente di calore abbastanza intensa, giunge un istante in cui tutto ad un tratto il liquido sparisce trasformandosi in vapore, il cui volume differisce poco da quello del liquido. In tal modo Cagniard-Latour trovò che l'etere solforico si riduce totalmente in vapore a 200° in uno spazio minore del doppio del suo volume allo stato liquido, e che la tensione allora è di 38 atmosfere.

304. **Pentola di Papin.** — Papin, medico francese, morto nel 1710, pare sia stato il primo fisico che abbia studiato gli effetti della produzione del vapore in un vase chiuso. L'apparecchio che porta il suo nome è un vase

cilindrico di bronzo D (fig. 207), munito d'un coperchio che si può fissare assai fermamente per mezzo d'una vite di pressione B, la quale lo mantiene compresso contro la pentola, ad onta della forza elastica del vapore che tende a sollevarlo. Per poter chiudere esattamente l'apparecchio, prima di applicare il coperchio, si interpongono delle foglie di piombo tra il suo lembo e quello della pentola. Alla base d'una cavità cilindrica, che attraversa il cilindro S e la tubulatura *o*, il coperchio ha un piccolo orifizio chiuso da un disco sul quale s'appoggia un'asta *n*. Quest'asta, che attraversa il cilindro e la tubulatura, trovasi premuta contro il disco otturatore da una leva A mobile attorno alla sua estremità *a*. Finalmente, con un peso P scorrevole lungo la leva A*a* si può esercitare sull'asta *n* una pressione tanto maggiore quanto più s'avvicina questo peso all'estremo A, giusta una proprietà nota delle leve (45). La pressione sul disco, che per tale disposizione è variabile, si regola in modo che quando il vapore nell'interno della pentola abbia raggiunta una tensione determinata, per esempio, 6 atmosfere, il disco sia sollevato e lasci sfuggire il vapore. Così, può evitarsi la rottura dell'apparato, e quindi questo meccanismo si chiama *valvola di sicurezza*.

Fig. 207. ($a = 54$).

La pentola di Papin, empita d'acqua sino a circa due terzi, indi chiusa, si pone a scaldare sopra un fornello. Così, il liquido può essere elevato ad una temperatura molto superiore a 100^0 e la tensione del vapore può arrivare ad un gran numero di atmosfere a norma del carico dato alla valvola di sicurezza.

Allora, se si apre la valvola, sfugge fischiando un copioso getto di vapore, che sollevasi a grande altezza. L'acqua del vase, che fino allora non bolliva, entra in ebollizione e la sua temperatura si abassa sino a 100^0.

La pentola di Papin può impiegarsi con vantaggio per aumentare l'azione solvente dei liquidi, offrendo essa il mezzo di portarli ad una temperatura superiore a quella della loro ebollizione; perciò le fu applicato anche il nome di *digestore*.

305. Calorico latente dei vapori. — Siccome, giusta la seconda legge dell'ebollizione (297), la temperatura dei liquidi rimane stazionaria per tutta la durata del fenomeno, bisogna conchiudere che nella vaporizzazione, come nella fusione, viene assorbita una riguardevole quantità di calorico, il cui unico effetto è di far passare i corpi dallo stato liquido all'aeriforme; e di vero, questa quantità di calorico non agisce sul termometro, poichè la temperatura del vapore che si svolge è sempre eguale o poco inferiore a quella del liquido. V'è dunque anche qui del *calorico latente* come nella fusione (277), il quale si denomina *calorico di elasticità* o *calorico di vaporizzazione*.

Qualunque sia la temperatura a cui si produce un vapore, avviene sempre assorbimento di calorico che si rende latente. Se si versa sopra una mano un liquido volatile, per esempio dell'etere, si sente un freddo vivissimo proveniente dal calorico di elasticità assorbito dal liquido che si vaporizza (1).

Quanto prima (347) vedremo come si determini col calcolo la quantità di calorico latente assorbita dai differenti liquidi nella vaporazione.

306. Freddo prodotto dall'evaporazione: solidificazione del mercurio. — È noto che quando un liquido si vaporizza, una notabile quantità di calorico

(1) Watt aveva stabilito la legge, che, *per riscaldare, partendo da zero, e vaporizzare un dato peso di acqua, la quantità totale di calore è sempre la stessa qualunque sia la temperatura alla quale si produce il vapore e quindi la tensione massima*, la qual legge suppone che il calorico latente diminuisca a misura che si effettua la vaporizzazione ad una temperatura più elevata. Difatti, se si prende per calorico di vaporizzazione dell'acqua il numero 540 (347), l'acqua che si vaporizza a 100 gradi ha assorbito da zero sino al suo cambiamento di stato 100 + 540 o 640 unità di calore. Per conseguenza se, l'acqua, la quale si vaporizza, per esempio, a 150 gradi, assorbisse ancora, giusta la legge di Watt, una quantità totale di calore eguale a 640, il suo calorico di vaporizzazione non sarebbe più che 640 — 150 o 490. Southern, all'opposto, nel 1803, stabilì quest'altra legge, che *il calorico latente assorbito all'istante della vaporizzazione è costante, qualunque sia la temperatura alla quale si produce il vapore e qualunque sia la pressione*. Ma, come risulta, dalle ricerche di Regnault, nè l'una nè l'altra di queste leggi è esatta, poichè la quantità totale di calore aumenta colla temperatura, mentre il calore latente decresce.

è assorbita e ridotta allo stato latente dal vapore che si svolge (305). Quindi un liquido che si evapora, se non riceve una quantità di calorico equivalente a quella che viene assorbita dal vapore, si raffredda, ed il suo raffreddamento è tanto maggiore quanto più rapida è l'evaporazione.

Leslie giunse a congelare l'acqua per il solo effetto di una rapida vaporizzazione. Per ciò, si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica un vase di vetro contenente dell'acido solforico concentrato, e superiormente a questo vase si dispone una piccola capsula metallica A (fig. 208) contenente qualche grammo di acqua. Facendo il vuoto, l'acqua entra in ebollizione (300) e, siccome i vapori vengono assorbiti dall'acido solforico di mano in mano che si svolgono, si produce una rapida vaporizzazione, la quale fa ben presto agghiacciare l'acqua contenuta nella capsula.

Fig. 208

Operando con liquidi più volatili dell'acqua, specialmente coll'acido solforoso, che bolle a -10^0, si produce un freddo sufficiente per solidificare il mercurio. Si fa quest'esperimento avviluppando di cotone una bolla di vetro piena di mercurio, e, dopo di averla bagnata di acido solforoso, collocandola sotto la macchina pneumatica, indi facendo il vuoto.

Thilorier, dirigendo un getto di acido carbonico liquido sul bulbo di un termometro ad alcoole, vide che la colonna discese sino a 100^0 al disotto di zero senzachè l'alcoole si solidificasse; ma si è veduto (279) che con una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, di acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a produrre un freddo abbastanza intenso per far assumere all'alcoole la consistenza di denso siroppo.

Nei paesi caldi si trae profitto dal freddo prodotto dall'evaporazione per raffreddare l'acqua col mezzo degli *alcarazas*. Si distinguono con questo nome dei vasi di terra porosi in modo che l'acqua filtri a traverso delle loro pareti e si evapori alla superficie esterna delle medesime, principalmente quando sieno collocati in una corrente d'aria.

307. **Liquefazione dei vapori.** — La *liquefazione* o *condensazione* dei vapori è il loro passaggio dallo stato aeriforme allo stato liquido. La condensazione può essere prodotta dal raffreddamento, dalla compressione e dalla affinità chimica. Affinchè i vapori si condensino per raffreddamento o per compressione, è necessario che abbiano raggiunta la tensione massima (285); ma l'affinità chimica può produrre la liquefazione dei vapori anche i più rarefatti. Così, un gran numero di sali assorbono, condensandolo, il vapore acqueo dell'atmosfera per quanto piccola sia la quantità che questa ne contiene.

Quando i vapori si condensano, il loro calorico latente ritorna libero, cioè sensibile al termometro. Si può constatare questo fatto introducendo una corrente di vapore a 100° in un vase che contenga dell'acqua alla temperatura ordinaria. Il liquido si scalda allora rapidamente e giunge presto a 100.° Si ammette che la quantità di calorico restituita dai vapori durante la loro condensazione sia precisamente eguale a quella che hanno assorbita formandosi; il che sembra evidente.

308. **Distillazione e lambicchi.** — La *distillazione* è una operazione per mezzo della quale si separa un li-

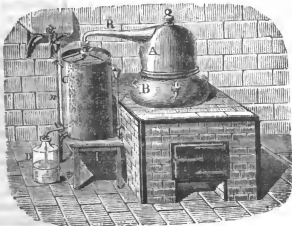



Fig. 209.

buido volatile dalle sostanze fisse che tiene in soluzione, o dalle meno volatili con cui è mescolato, riducendolo

allo stato di vapore. Questa operazione è fondata sulla trasformazione dei liquidi in vapore per l'azione del calorico, e sulla condensazione dei vapori per il raffreddamento.

Gli apparecchi che si adoperano per effettuare la distillazione si chiamano *lambicchi* od *alambicchi*. Gli alambicchi possono avere una forma assai varia, ma risultano sempre di tre parti principali: 1.ª la *cucurbita* C (fig. 209) la quale è per lo più di rame stagnato e contiene il liquido che vuolsi distillare; la sua parte inferiore è abbracciata da un fornello di mattoni; 2.ª il *capitello* A, il quale appoggia sulla cucurbita e lascia uscire il vapore a traverso di un collo laterale R; 3.ª il *serpentino*, C, che consiste in un lungo tubo di stagno o di rame, avvolto ad elica e collocato in un recipiente pieno d'acqua fredda; il serpentino serve a raffreddare il vapore e quindi a condensarlo.

Se si tratta, per esempio, di distillare dell'acqua di pozzo o di fiume per liberarla dai sali che tiene in soluzione, e che sono specialmente del solfato di calce, del carbonato di calce e del cloruro di sodio, se ne riempie la cucurbita sino a circa ai due terzi e si riscalda; l'acqua entra in ebollizione, ed i vapori che si sviluppano si condensano nel serpentino, d'onde l'acqua proveniente dalla condensazione effluisce poi nel recipiente D.

Siccome i vapori che si condensano riscaldano rapidamente (307) l'acqua del recipiente in cui è immerso il serpentino, così bisogna rinnovare continuamente quest'acqua altrimenti non si effettuerebbe più la condensazione. A tal uopo, un tubo *n*, alimentato di continuo da una corrente d'acqua fredda, conduce quest'ultima alla parte inferiore del recipiente, mentre l'acqua calda, che è meno densa, recasi sempre alla parte superiore ed effluisce da un tubo *m* situato presso l'orlo del recipiente.

La distillazione non deve essere soverchiamente protratta, altrimenti le sostanze organiche, che si potrebbero trovare nell'acqua, verrebbero decomposte sulle pareti riscaldate della cucurbita, e darebbero origine a prodotti volatili.

L'acqua distillata è di una perfetta limpidità, evaporando, non lascia alcun residuo; ma contiene sempre una piccola quantità di acido carbonico, perchè questo gas esiste in tutte le acque naturali, e colla distillazione se ne può separare soltanto una parte. Per ottenere che l'acqua distillata ne sia priva, si pone nella cucurbita una certa quantità di calce, la quale si combina con esso e lo trattiene.

L'alcoole contenuto nei vini ne viene estratto colla distillazione, per mezzo di alambicchi analoghi a quello che abbiamo ora descritto.

309. **Assorbimento, tubi di sicurezza.** — In chimica chiamasi *assorbimento* un accidente, il quale si produce negli apparati che servono alla preparazione dei gas allorchè questi vengono raccolti sull'acqua o sul mercurio, e consiste in ciò che tali liquidi penetrano negli apparati e mandano a vuoto l'operazione.

Questo accidente è sempre prodotto dall'eccesso della pressione atmosferica sulla tensione del gas contenuto nell'apparato. Infatti, si immagini che un gas, per esempio, il gas acido solforoso, si sviluppi da un matraccio M (fig. 110) e passi in una provetta A piena d'acqua. Fintanto che il gas si sviluppa abbondantemente, la sua tensione supera la pressione atmosferica ed il peso della colonna d'acqua *on*; quindi l'acqua della provetta non può elevarsi nel tubo, e l'assorbimento è impossibile. Ma se la tensione del gas decresce, o perchè lo svolgimento si rallenti o perchè si abbassi la temperatura del matraccio, si rende prevalente la pressione esterna, e, quando l'eccesso di questa pressione supera il peso della colonna di acqua *co*, l'acqua penetra nel matraccio e l'operazione va fallita. Si previene questo accidente per mezzo dei *tubi di sicurezza.*

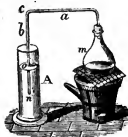



Fig. 210

Si dà questo nome ai tubi destinati a prevenire l'assorbimento col lasciar rientrare l'aria negli apparati a misura che diminuisce la tensione interna. Il più semplice tubo di sicurezza consiste in un tubo diritto Co (fig. 211), che attraversa il turacciolo applicato al matraccio M, in cui si produce il gas, e che si immerge per qualche millimetro nel liquido contenuto in questo matraccio. Quando la tensione del gas diminuisce nel vase M, la pressione atmosferica che si esercita sull'acqua del vase E fa salire questo liquido nel tubo DA fino ad una certa altezza; ma questa pressione, esercitandosi anche nel tubo Co, tende a deprimere di altrettanto il liquido che trovasi in questo tubo, ammettendo che esso abbia la stessa densità dell'acqua del vase E. Ora, siccome la distanza *or* è

minore dell'altezza DH, l'aria rientra per l'orifizio *o* prima che l'acqua del vase E si innalzi fino in A, e l'assorbimento non accade.

Il tubo C*o* serve anche a prevenire le esplosioni. Quando la produzione del gas sia troppo rapida ed il tubo AD non basti a lasciar passare tutto il gas che va di mano in mano sviluppandosi, il liquido contenuto nel matraccio M è respinto verso l'esterno e sfugge dal tubo C, dal quale pure esce il gas, appena il livello siasi abbassato al di sotto dell'orifizio *o*.

La figura 212 rappresenta un'altra specie di tubo di si-

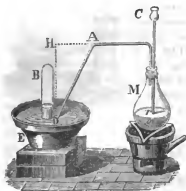



Fig. 211. *Fig.* 212.

curezza distinto col nome di *tubo ad* S. Questo tubo porta una bolla *a*, la quale, come il ramo *id*, contiene una certa quantità di liquido. Quando la tensione del gas, nella storta M, supera la pressione atmosferica, il liquido nel ramo *id* sale ad un livello più alto di quello della bolla *a*; se il gas ha la tensione di una atmosfera, il livello è lo stesso nel tubo e nella bolla. Finalmente, se la tensione del gas è minore della pressione atmosferica, il livello si abbassa nel ramo *di*, e siccome si fa in modo che l'altezza *ia* sia minore di *bh*, l'aria entrata pel tubo *cd*, tosto che è arrivata nella parte curva *i*, solleva la colonna *ia* e penetra nella storta prima che l'acqua della provetta siasi innalzata sino in *b*; allora la tensione interna eguaglia la pressione esterna e non può accadere l'assorbimento.

310. Liquefazione dei gas. — I gas, non essendo altro che vapori assai rarefatti, possono, come questi, subire la liquefazione. Ma trovandosi ben lontani dal loro punto

di liquefazione, non possono esservi ricondotti se non per mezzo di una pressione o di un raffreddamento più o meno considerabile. Per alcuni basta la sola compressione od il solo raffreddamento; per la maggior parte bisogna impiegare simultaneamente questi due processi di liquefazione. Pochi gas resistettero finora a queste due azioni combinate, e si deve ammettere che quelli i quali, come l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, il biossido di azoto e l'ossido di carbonio, non si poterono liquefare, si condenserebbero qualora si potesse sottoporli ad un raffreddamento e ad una pressione sufficienti.

Abbiamo già detto (125) che Faraday ha liquefatto un gran numero di gas riguardati per lo addietro come permanenti. Il suo processo consiste nel chiudere in un tubo di vetro curvato a sifone delle sostanze, le quali, per la loro reazione chimica, producano il gas che trattasi di comprimere; di maniera che, trovandosi contenute queste sostanze in uno dei rami del sifone, il gas, a misura che si svolge, viene da sè a comprimersi ed a liquefarsi nell'altro ramo. In tal modo il gas può essere assoggettato a pressioni di 40 o 50 atmosfere. Il tubo viene inoltre raffreddato per mezzo di mescolanze frigorifere. Un piccolo manometro ad aria compressa, chiuso nell'apparato, indica la pressione.

Con questo processo Faraday, pel primo, ha liquefatto il gas acido carbonico alla temperatura di 0° e sotto una pressione di 35 atmosfere.

311. **Apparato per liquefare e solidificare il gas acido carbonico**. — Siccome il gas acido carbonico non può essere ridotto allo stato liquido senza una fortissima pressione, la sua liquefazione si ottiene soltanto in apparati speciali a pareti di grande robustezza. Il primo apparato di questo genere fu costrutto da Thilorier. I Deleuil, in seguito, lo modificarono in guisa che presentasse maggiore solidità.

La figura 213 rappresenta un tale apparato, il quale consta di due vasi cilindrici di ghisa eguali, P e Q, mobili ambedue intorno a perni orizzontali sostenuti da robuste intelaiature VV pure in ghisa. Questi vasi hanno una capacità di circa sei litri; le loro pareti hanno la grossezza di 3 centimetri, e di più sono munite pel lungo di quattro nervature di un centimetro di rilievo sul restante della parete e della larghezza di otto centimetri. Nel vano tra una nervatura e l'altra sono incassate delle

fasce di ferro dolce *m*, le quali, partendo dall'alto dei cilindri, si avvolgono sul fondo dei vasi, che è emisferico, e risalgono sino alla bocca dalla parte opposta. Finalmente, queste fasce sono fortemente serrate da quattro cerchii *n*, *o*, *p*, *q* parimenti di ferro dolce. Prima di mettere in posto questi cerchii, si arroventano, e così, allorchè si raffreddano, stringono con gran forza le fasce longitudinali ed i cilindri.

Sulla bocca di ciascuno dei cilindri trovasi un robinetto M formato di varii pezzi, e che per mezzo del manubrio *a* si può serrare fortemente entro una chiocciola scavata nel massiccio della ghisa. Nel robinetto M trovasi un condotto verticale che in *x* si biforca verso *b* e verso *d* e mette in comunicazione l'interno del cilindro con due a-

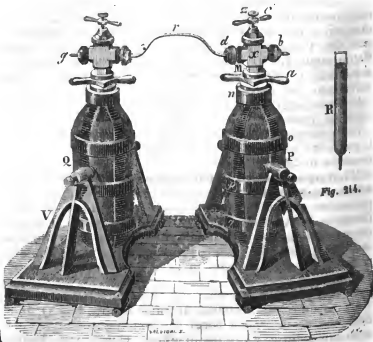



Fig. 213.

perture praticate in *b* e in *d*, delle quali si apre una sola per volta. Una vite *z*, che si stringe col manubrio *c*, è destinata a chiudere il condotto verticale inferiormente al

luogo *z* dove si biforca. A questo fine, sotto alla vite trovasi una palla di piombo, la quale, premuta, chiude esattamente l'apertura del condotto. Anche gli orifizi *b* e *d* sono chiusi con viti di pressione.

Essendo i due cilindri in tutto eguali, si prende l'uno qualunque di essi per generatore del gas acido carbonico, e l'altro serve come recipiente per operarne la liquefazione. Suppongasi scelto per generatore il cilindro P. Tolto il robinetto M, si introducono nel cilindro 1800 grammi di bicarbonato di soda, tre litri d'acqua scaldata a 39° ed un chilogrammo d'acido solforico. Perchè non avvenga l'istantanea decomposizione del bicarbonato di soda, si versa l'acido in un lungo tubo R di rame (fig. 214), che si lascia aperto al disopra, e si pone questo tubo nel vase P.

Fatto ciò, si rimette al posto il robinetto M e si stringe fortemente tanto questo robinetto quanto la vite *z*, che ne chiude il condotto; si inclina adagio il cilindro, facendolo oscillare sul perno a fine di far escire dal vase R una piccola quantità di acido solforico e versarla sul bicarbonato. Così, a varie riprese, si inclina il cilindro fino a che tutto l'acido sia escito dal vase R.

Il tempo necessario per compiere la reazione chimica si valuta di sette minuti. Allora l'acido carbonico che si è prodotto nel generatore è in parte liquefatto e mescolato coll'acqua adoperata nella preparazione. Ma, facendo comunicare col generatore il recipiente Q, per mezzo di un tubo di rame *r* di piccolo diametro, ed allentando la vite *z*, l'acido carbonico passa nel recipiente dove, comprimendosi da sè, torna di nuovo allo stato liquido. Thilorier ha valutata a 50 atmosfere la pressione che allora si ha nel recipiente, supposto che la temperatura sia di 15 gradi.

Ripetendo cinque o sei volte la stessa operazione, si condensano nel recipiente sino due litri d'acido carbonico liquido.

Per ottenere lo stesso acido allo stato solido, il robinetto del recipiente viene munito, alla sua parte inferiore, di una tubulatuta che si immerge nell'acido carbonico liquido. Allora, aprendo un orifizio *g*, che trovasi nella parete del robinetto, l'acido carbonico liquido, in causa della pressione interna, zampilla con violenza, ritornando allo stato aeriforme. Ma, mentre effluisce nell'atmosfera, si gasifica soltanto una parte del liquido, perchè la quan-

tità di calorico latente assorbito in questo cangiamento di stato è tale (305), che l'altra parte, cedendo il suo calorico di liquefazione, si solidifica in fiocchi bianchi cristallizzati sotto forma filamentosa.

Si raccolgono questi fiocchi in una scatola sferica di ottone a pareti sottili, ciascun emisfero della quale è munito di una impugnatura tubulare rivestita di grosso feltro (fig. 215). L'acido carbonico liquido vi si introduce per mezzo di un tubo, che penetra all'interno tangenzialmente alla parete. Uscendo da questo tubo, il getto colpisce

Fig. 215.

su una laminetta *a*, che lo divide ed accelera la vaporizzazione. La porzione che si gasifica si sviluppa traverso a piccoli fori *m*, *n*, e le tubolature che servono di impugnatura, mentre quello che si solidifica si agglomera nell'interno della scatola.

L'acido carbonico solidificato si vaporizza assai lentamente. Allora si può riconoscere con un termometro ad alcoole che la sua temperatura e di circa — 78.° Nondimeno, collocandolo sulla mano, non vi produce una impressione di freddo tanto viva quanto potrebbesi aspettare, il che proviene dal non esservi contatto perfetto; ma se lo si mescola con etere, il freddo è talmente intenso che un fiocco d'acido carbonico solido posto sulla pelle la disorganizza come farebbe una forte scottatura. Questa mescolanza solidifica in alcuni secondi un peso di mercurio quadruplo del suo. Immergendovi un tubo pieno d'acido carbonico liquido, Faraday potè solidificarlo in una massa compatta che presenta l'aspetto di un pezzo di ghiaccio ben trasparente.

312. **Apparato per liquefare il gas protossido di azoto.** — Nell'apparato di Thilorier il gas acido carbonico si comprime da sè, producendosi in gran copia. Ma siccome non tutti i gas possono essere prodotti in condizioni favorevoli per poterli così liquefare per mezzo della loro propria pressione, così talvolta bisogna ricorrere a pressioni artificiali. In tal maniera Natterer ottenne la liquefazione di parecchi gas comprimendoli in una canna da fucile per mezzo di una tromba premente.

La figura 216 rappresenta in prospettiva un apparato di Natterer modificato da Bianchi, costruttore di strumenti di fisica in Parigi; la figura 217 ne dà una sezione in iscala maggiore. Quest'apparato è composto di un serbatojo di ferro lavorato a martello, della capacità di 7 ad 8 decilitri e che può resistere ad una pressione maggiore

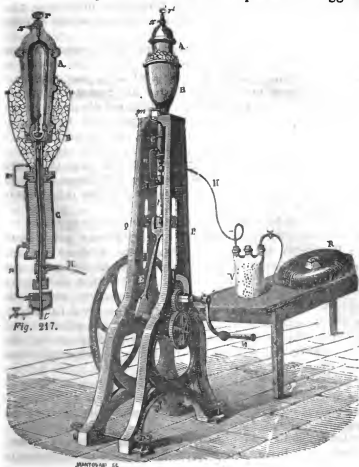



Fig. 217.

Fig. 216.

di 600 atmosfere. Alla parte inferiore di questo serbatojo è unita a vite una piccola tromba premente. Il gambo *t* del suo stantuffo riceve il moto alternativo da un'asta E, articolata sopra una manovella a gomito, posta in moto per mezzo di un'ingranaggio e di una manovella sem-

plice M. Siccome la compressione del gas e lo strofinamento dello stantuffo fanno svolgere gran copia di calore, si cinge il serbatojo A con una vaschetta B piena di ghiaccio. L'acqua proveniente dalla fusione di questo ghiaccio passa per mezzo di una tubolatura *m* in un cilindro cavo di rame, entro il quale trovasi la tromba premente, e di là può uscire per una piccola canna *n* munita di chiavetta *o*. Tutto il sistema è fissato sopra un solido sostegno di ghisa PQ.

Il gas che si vuol liquefare è raccolto preventivamente in bissaccie impermeabili R, dalle quali passa in un vase V che contiene cloruro di calcio od altra sostanza essiccante, indi per mezzo di un tubo di gomma elastica H entra nella tromba premente. Quando l'apparato ha servito per qualche tempo, si svita il serbatoio della tromba, senza che per ciò possa sfuggire il gas liquefatto, perchè il serbatoio A trovasi chiuso alla sua parte inferiore da una valvola S (fig. 217). Per raccogliere poi il liquido contenuto nel serbatoio, si capovolge quest'ultimo e si toglie un turacciolo a vite *r*, lasciando così uscire il liquido pel canaletto *x*.

Il più notabile effetto ottenuto con questo apparato è la liquefazione del protossido di azoto. Questo gas, quando sia liquefatto, si vaporizza lentamente sebbene in vase aperto, e conserva la temperatura fissa di 88 gradi sotto zero. Il mercurio, versato in piccola quantità entro questo liquido, si solidifica subitamente. Altrettanto accade dell'acqua versata a goccie; ma quando si versi in maggior copia, il calorico che essa cede nel gelare, essendo molto più abbondante del calorico latente di fusione del mercurio (345), può bastare per produrre la detuonazione del protossido di azoto.

Il protossido di azoto, essendo facilmente decomposto per mezzo del calore, possiede la proprietà di alimentare la combustione quasi allo stesso grado che l'ossigeno, e conserva anche allo stato liquido una tale proprietà, a malgrado della sua bassa temperatura. Perciò, gettato in questo liquido un pezzo di carbone acceso, abbrucia con vivissima luce.

MESCOLANZE DEI GAS E DEI VAPORI.

313. **Leggi delle mescolanze dei gas e dei vapori.** — Ogni mescolanza di un gas e di un vapore offre le due leggi seguenti:

1.ª *La tensione e quindi la quantità di vapore che satura uno spazio dato rimangono le stesse, a pari temperatura, sia che questo spazio contenga un gas o che si trovi vuoto;*

2.ª *La forza elastica della mescolanza eguaglia la somma delle forze elastiche del gas e del vapore mescolati, quando si riduca la mescolanza al volume primitivo.*

Fig. 218.

Queste due leggi, note sotto il nome di *leggi di Dalton*, perchè questi pel primo le fece conoscere, si dimostrano con un apparato semplicissimo dovuto a Gay-Lussac e rappresentato dalla figura 218. Esso si compone di un tubo di vetro A, agli estremi del quale sono fissati con mastice due robinetti di ferro *b* e *d*. Il robinetto inferiore è munito di una tubolatura che mette in comunicazione il tubo A con un secondo tubo B di diametro minore. Una scala interposta a questi due tubi è destinata a misurare l'altezza della colonna di mercurio contenuta in ciascuno di essi.

Ciò posto, quando siasi empito il tubo A di mercurio asciutto, chiuse le chiavette *b* e *d*, si avvita da prima sul robinetto *b*, in luogo dell'imbuto C, un pallone di vetro M chiuso esso pure da una chiavetta e pieno d'aria secca o di qualsiasi altro gas. Aprendo poi le tre chiavette, si lascia effluire dal tubo A una parte del mercurio, che è surrogato dall'aria secca del pallone. Si chiudono allora le chiavette, e siccome l'aria che trovasi nello spazio A si dilata all'escire dal pallone e trovasi ad una pressione minore dall'atmoferica, la si riduce a quest'ultima pressione versando del mercurio nel tubo B, fino a che giunga ad essere allo stesso livello nei due tubi. Finalmente, si toglie il pallone col robinetto cui trovasi unito e si pone al suo luogo un imbuto C munito esso pure di una chiave *a*, che differisce dalle ordinarie. Infatti, essa non è traforata, ma ha soltanto una piccola cavità, quale si scorge

in *o* alla destra della figura. Versato nell'imbuto C il liquido che si vuol far vaporizzare, e notato il livello I del mercurio, indi aperta la chiavetta *b*, si fa girare la chiave *a* in modo che la sua cavità si empia di liquido; poi la si rivolge affinchè il liquido penetri nello spazio A e vi si vaporizzi. Così, si continua a far cadere il liquido goccia a goccia fino a saturare di vapore l'aria che è nel tubo, il che si riconosce dal vedere il livello I del mercurio restare stazionario (288).

Siccome la tensione del vapore che si è formato nello spazio A si è aggiunta a quella dell'aria che già vi esisteva, il volume è cresciuto; ma si riduce facilmente la mescolanza al volume primitivo versando di nuovo del mercurio nel tubo B. Quando si fa arrivare per tal guisa il mercurio allo stesso livello I che aveva dapprima, si osserva nei tubi B ed A una differenza di livello B*o*, la quale misura evidentemente la tensione del vapore che si è formato, perchè la tensione dell'aria non ha variato, avendo essa ripreso il suo volume primitivo. Ora, se si fanno passare nel vuoto barometrico alcune goccie di quello stesso liquido introdotto nello spazio A, si osserva una depressione precisamente eguale a B*o*. Ciò dimostra appunto che a pari temperatura la tensione d'un vapore è la stessa sì nei gas che nel vuoto; d'onde si conchiude che ad eguale temperatura la densità, e quindi la quantità di vapore, a volume eguale, sono parimenti le stesse.

La seconda legge poi si trova dimostrata dall'esperimento precedente, poichè quando il mercurio è risalito al suo livello I, la mescolanza sostiene la pressione atmosferica che si esercita sul mercurio contenuto nel tubo B, più il peso della colonna di mercurio B*o*. Ora, queste due pressioni rappresentano appunto l'una la tensione dell'aria secca, l'altra la tensione del vapore. Del resto la seconda legge può riguardarsi come una conseguenza della prima.

L'apparecchio or ora descritto serve a sperimentare soltanto alla temperatura ordinaria; ma Regnault ha misurata la tensione del vapore d'acqua nell'aria e nel vuoto anche per mezzo di un apparecchio, che può essere scaldato a differenti temperature. Egli osservò costantemente che la tensione è alquanto minore nel primo caso che nel secondo. Le differenze però sono sì piccole che non tolgono d'ammettere come vera la legge di Dalton e di Gay-Lussac. Lo stesso Regnault pensa che debbasi continuare ad ammettere questa legge come rigorosamente vera in

teoria, e che le piccole differenze da lui constatate siano da attribuirsi alla affinità igroscopica delle pareti dei tubi.

314. Problemi sulle mescolanze dei gas e dei vapori. — **I.** Dato un volume V d'aria secca alla pressione H, si domanda quale sarà il volume V' della stessa massa d'aria satura di vapore acqueo alla stessa temperatura e alla stessa pressione.

Chiamando F la forza elastica del vapore, che satura l'aria, la tensione di quest'ultima, nel miscuglio, è solamente H — F (313 2.ª). Ora, giusta la legge di Mariotte, i volumi V e V' sono in ragione inversa delle pressioni a cui è assoggettata l'aria, dunque $\frac{V'}{V} = \frac{H}{H-F}$, da cui $V = \frac{VH}{H-F}$.

II. Essendo dato un volume V d'aria satura di vapore, alla pressione H e alla temperatura t, si domanda il volume V' di aria, pure satura, alla pressione H' e alla temperatura t'.

Chiamando f ed f' le tensioni massime del vapore alle temperature rispettive t, t', l'aria nei volumi V, V' sarà da sola soggetta rispettivamente alle pressioni $H - f$ ed $H' - f'$. Se la temperatura rimanesse costante, si avrebbe, giusta la legge di Mariotte,

$$\frac{V'}{V} = \frac{H-f}{H'-f'}.$$

Ma siccome la temperatura varia da t a t', si ha $V = V' . \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}$ (270 problema III), dove α indica il coefficiente di dilatazione dell'aria. Sostituendo questo valore di x nella equazione precedente, si ottiene

$$\frac{V'}{V} = \frac{H-f}{H'-f'} . \frac{1 \times \alpha t}{1+\alpha t'}.$$

III. Si domanda il peso P di un volume V d'aria satura di vapore acqueo alla temperatura t ed alla pressione H.

Per risolvere questo problema, osserviamo che il volume V d'aria satura è in realtà una mescolanza di V litri di aria secca a t gradi, alla pressione H, meno quella del vapore, e di V litri di vapore saturo a t.

Ora, se rappresentiamo con F la tensione del vapore, la pressione dell'aria considerata da sola sarà H — F, ed il problema trovasi così condotto a cercare: 1.° il peso di V litri d'aria secca a t gradi ed alla pressione H — F; 2.° il peso di V litri di vapore saturo a t gradi ed alla pressione F.

Per risolvere la prima parte del problema, sappiamo che 1 litro di aria secca a 0 gradi ed alla pressione di 76° pesa 1gr;293, e che a t gradi ed alla pressione H — F pesa $\frac{1^{gr.},293\,(H-F)}{(1+\alpha t)\,76}$ (270, probl. VI); quindi V litri di aria secca pesano $\frac{1^{gr.},293\,V\,(H-F)}{(1+\alpha t)\,76}$, (1).

Finalmente, per avere il peso del vapore, bisogna innanzi tutto cercare il peso di un egual volume di aria secca, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione, indi moltiplicarlo per la densità del vapore (270, probl. VII). Ora, siccome V litri d'aria secca, a t gradi ed alla pressione F, pesano $\frac{1^{gr.},293\ V.F}{(1+\alpha t)76}$, così V litri di vapore, la cui densità è $\frac{5}{8}$, pesano

$$\frac{1^{gr.},293\ V\ .\ F \times 5}{(1+\alpha t)\ 76 \times 8}(2).$$

Eppereiò, finalmente, siccome il peso cercato P è eguale alla somma dei pesi (1) e (2), si ha

$$P = \frac{1^{gr.},293\ V\ (H - F)}{(1+\alpha t)\ 76} + \frac{1^{gr.},293\ V.F \times 5}{(1+\alpha t)\ 76 \times 8} = \frac{1^{gr.},293\ V}{(1+\alpha t)\ 76}\left(H - \frac{3}{8}F\right).$$

STATO SFEROIDALE

315. Esperienze di Boutigny. — I liquidi versati sopra superficie metalliche incandescenti presentano dei fenomeni notabili, osservati per la prima volta da Leidenfrost, già da circa un secolo, e studiati in seguito da alcuni fisici, specialmente poi da Boutigny, il quale in questi ultimi anni fece conoscere le sue curiose esperienze, di cui esporremo qui le principali.

Versando per mezzo di una pipetta alcuni grammi d'acqua in una capsula d'argento o di platino a pareti grosse e riscaldata fino al calor rosso, si osserva che il liquido non si stende nella capsula e non la bagna, come farebbe alla temperatura ordinaria, ma prende la forma di un globetto appianato, il che Boutigny esprime dicendo che il liquido passa allo *stato sferoidale*. In questo stato l'acqua è animata da un moto giratorio rapido sul fondo della capsula, e non solo non entra in ebollizione, ma vaporizza 50 volte più lentamente che se bollisse. Finalmente, se si abbassa la temperatura della capsula, giunge un momento in cui questa non è più calda a sufficienza per mantenere l'acqua allo stato sferoidale. Allora le sue pareti sono bagnate dal liquido e si manifesta improvvisamente una ebollizione violenta.

Tutti i liquidi possono assumere lo stato sferoidale, e la temperatura necessaria perchè il fenomeno si produca è tanto più elevata quanto più alto è il punto di ebollizione del liquido. Per l'acqua, la capsula deve essere scaldata almeno a 200°, per l'alcoole a 134°.

Boutigny osservò che la temperatura dei liquidi allo stato sferoidale è sempre inferiore a quella della loro ebollizione. L'acqua, per esempio, rimane a 96°,5; l'alcoole a 75°,5; l'etere a 34°; l'acido solforoso a — 10°,5. Ma la temperatura del vapore che si svolge è eguale a quella della capsula, d'onde si deve dedurre che questo vapore non si produce nel seno del liquido.

Questa proprietà dei liquidi allo stato sferoidale di mantenersi ad una

temperatura inferiore a quella della loro ebollizione condusse Boutigny ad una esperienza assai singolare, quella della congelazione dell'acqua in una capsula incandescente. Egli scalda al rosso bianco una capsula di platino, e vi versa alcuni grammi di acido solforoso liquido. Questo liquido, il quale bolle a — 10°, si comporta nella capsula come l'acqua, cioè la sua temperatura si abbassa al di sotto di — 10°. Allora, se si aggiungono all'acido solforoso alcune goccie d'acqua, questa, raffreddata dall'acido, si congela all'istante, e mentre la capsula è ancora rossa, se ne estrae, con sorpresa, un pezzo di ghiacelo

Un liquido allo stato sferoidale non è in contatto col corpo caldo. Boutigny se ne accertò arroventando una piastra d'argento messa in posizione esattamente orizzontale e versandovi sopra un grammo d'acqua colorata in nero. Questo liquido passa allo stato sferoidale; collocando allora la fiamma d'una candela ad una certa distanza sul prolungamento del piano della piastra, si distingue chiara e continua questa fiamma tra lo sferoide acqueo e la piastra. Si conchiude quindi che il liquido si mantiene ad una piccola distanza dal metallo, o che fa vibrazioni rapide in modo che l'occhio non può distinguerle.

Per ispiegare i fenomeni che presentano i liquidi allo stato sferoidale, si ammette che il globetto liquido è sostenuto dalla tensione del vapore che si forma alla sua superficie in guisa che non può toccare il vase. Allora il liquido, essendo scaldato non già per contatto ma soltanto per irradiazione, non si vaporizza che lentamente; sopratutto per la ragione che essendo l'acqua diatermica pei raggi emessi da una sorgente intensa (370), la maggior parte del calorico raggiante la attraversa senza scaldarla. Boutigny opina che la causa per cui il liquido non bagna il metallo sia una forza ripulsiva che nasce fra il corpo caldo ed il liquido, la quale sarebbe tanto più intensa quando più elevata è la temperatura. Quest'ipotesi concorda coll'esperimento seguente dell'inglese Perkins. Avendo egli applicato un tubo con chiavetta ad un generatore di vapore al di sotto del livello dell'acqua, osservò che il liquido non effluiva pel tubo quando le sue pareti si trovavano a temperatura elevatissima, benchè la pressione interna fosse considerabile; ma ad una temperatura più bassa il liquido zampillava con forza.

DENSITÀ DEI VAPORI.

346 Metodo di Gay-Lussac. — Si chiama *densità di un vapore* il rapporto tra il peso d'un certo volume di questo vapore alla tensione massima e quello d'un eguale volume d'aria alla stessa temperatura ed alla medesima pressione.

Per determinare la densità dei vapori furono seguiti due metodi; il primo, dovuto a Gay-Lussac, è applicabile ai vapori dei liquidi che entrano

in ebollizione al disotto o poco al disotto di 100°; il secondo, dovuto a Dumas, si applica anche a temperature che possono giungere sino a 400° circa.

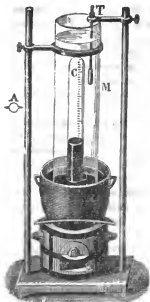



Fig. 219. ($a = 51$).

La figura 219 rappresenta l'apparato di Gay-Lussac. Esso si compone d'una pentola di ghisa piena di mercurio, nel quale si immerge un tubo di vetro M pieno d'acqua e d'olio, la cui temperatura è indicata da un termometro T. Nell'interno del tubo avvi una campanella graduata C, che da principio si riempie di mercurio.

Per esperimentare con questo apparato, si introduce il liquido, che deve vaporizzare, in una piccola ampolla di vetro simile a quella rappresentata in A sulla sinistra della figura; chiusa poscia questa ampolla alla lampada, la si pesa, e, sottraendo dal peso ottenuto quello dell'ampolla quando era vuota, si ha il peso del liquido introdottovi. Allora si fa passare l'ampolla nella campana C e si scalda gradatamente fino a che l'acqua del tubo giunga ad una temperatura, che superi di alcuni gradi quella alla quale entra in ebollizione il liquido su cui si eseguisce l'esperimento. Allora il liquido, in causa della sua dilatazione, fa scoppiare l'ampolla, e, riducendosi in vapore, deprime il mercurio nella campanella, come si vede nella figura. Conviene che l'ampolla sia talmente piccola che tutto il liquido ch'essa contiene riducasi in vapore. In tal caso, quando il bagno arriva alla temperatura di ebollizione del liquido contenuto nell'ampolla, il livello del mercurio si conserva più elevato entro la campanella che all'esterno. Ciò indica infatti che nella campana non v'è liquido in eccesso, altrimenti il mercurio si troverebbe allo stesso livello entro la campana e fuori. Si ha dunque la certezza che il peso del liquido, di cui era piena l'ampolla, rappresenta esattamente il peso del vapore formatosi nella campanella C. Il volume poi di questo vapore si misura per mezzo della scala graduata che trovasi sulla campanella. La sua temperatura è data dal termometro T e la sua pressione eguaglia l'altezza del barometro, meno quella del mercurio residuo nella campanella. Rimane soltanto da calcolare il peso d'un volume d'aria eguale a quello del vapore e preso nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, e, finalmente, da dividere il peso del vapore per quello dell'aria; il quoziente è la densità o il peso specifico cercato (*).

(*) In questo processo la densità del vapore sarà ottenuta con tanto maggiore esattezza quanto meno il livello del mercurio nella campanella sarà elevato sull'esterno, e la temperatura meno elevata al di sopra di quella di ebollizione del liquido assoggettato all'esperimento.
(Nota del Trad.)

Ecco la via da tenersi nell'eseguire questi calcoli. Rappresentiamo con p il peso del vapore in grammi, con v il suo volume in litri, con t la sua temperatura, con H l'altezza barometrica e con h l'altezza del mercurio nella campanella, per cui la pressione del vapore è H — h.

Trattasi di ottenere il peso d'un volume v d'aria alla temperatura t, e sotto la pressione H — h. Ora, siccome a zero gradi e sotto la pressione 0m,76 un litro d'aria pesa 1gr.,293 il peso del volume v alla stessa pressione ed a zero gradi sarebbe 1gr.,293 $\times v$. Per calcolare il peso dello stesso volume d'aria a t gradi, sia α il coefficiente di dilatazione dell'aria; il volume è aumentato da zero a t gradi nel rapporto di 1 ad $1 + \alpha t$; al contrario, il peso di ogni unità di volume varia nel rapporto inverso di $1 + \alpha t$ ad 1. Dunque il peso del volume v d'aria a t gradi ed alla pressione 0m,76 è il quarto termine della proporzione

$$1 + \alpha t : 1 = 1^{gr.},293\ v : x = \frac{1^{gr.},293 \times v}{1 + \alpha t}.$$

Finalmente, essendo il peso di uno stesso volume d'aria proporzionale alla pressione, si passa dalla pressione 0m,76 alla H — h colla proporzione

$$0,76 : H - h = \frac{1^{gr.},3 \times v}{1 + \alpha t} : p' = \frac{1^{gr.},3 \times v\,(H - h)}{0,76\ (1 + \alpha t)},$$

ove p' rappresenta il peso d'un volume d'aria eguale a v, alla pressione H — h ed alla temperatura t. Quindi, denominando D la densità cercata, si ha

$$D = \frac{p}{p'} = \frac{p\ (1 + \alpha t)\ 0,76}{1,293\ v\,(H,3 - h)}.$$

317. Metodo di Dumas. — Il processo descritto poc'anzi non si può applicare a quei liquidi il cui punto di ebollizione oltrepassa 150 o 160 gradi. Infatti, per elevare a questa temperatura l'olio di cui si empie in tal caso il tubo, bisogna scaldare il mercurio nella pentola ad un grado molto più elevato, e quindi svolgonsi vapori di mercurio che non si ispirano senza pericolo. Inoltre nella campana graduata la tensione dei vapori di mercurio si somma con quella del vapore su cui si esperimenta, d'onde una causa d'errore.

Con processo seguente, dovuto a Dumas, si può operare fino alla temperatura alla quale avverrebbe la deformazione del vetro, cioè verso i 360°. L'apparato è composto d'un pallone di vetro B (fig. 220), a collo terminato in punta e della capacità di circa un mezzo litro. Si pesa questo pallone pieno d'aria dopo averlo bene essiccato all'interno ed all'esterno, e se ne deduce il peso P del vetro. In seguito, per la punta assottigliata si introduce il liquido che si vuole far vaporizzare, poi si immerge il pallone in un bagno d'acqua satura di sale od in bagno d'olio di piede di bue o di lega di d'Arcet, a norma della temperatura di ebollizione del liquido che trovasi nel pallone.

Per mantenere il pallone nel bagno, sopra uno dei manici della pentola che lo contiene, si ferma un'asta di ferro, lungo la quale può scorrere un sostegno dello stesso metallo. Questo sostegno porta due anelli tra i quali è collocato il pallone, come mostra la figura. Sull'altro manico è disposta un'asta simile alla prima, la quale porta un termometro a peso D.

Immerso il pallone col termometro nel bagno, si scalda quest'ultimo alquanto al di là della temperatura di ebollizione del liquido sottoposto all'esperimento. Il vapore, svolgendosi per la punta, scaccia l'aria che trovasi nell'apparato. Quando cessa il getto del vapore, ossia quando tutto il liquido è vaporizzato, si salda alla lampada con un cannello la punta affilata del pallone, avendo cura di notare tosto la temperatura del bagno e l'altezza del barometro. Finalmente, quando il pallone è raffreddato e bene asciugato, si pesa di nuovo, ed il peso P che si ottiene rappresenta il peso del vapore che contiene, più il peso del vetro, meno il peso dell'aria spostata (160). Adunque, per avere il peso del vapore, bisogna sottrarre da P' il peso del vetro ed aggiungere al residuo il peso dell'aria spostata, il che è facile a farsi dopo aver determinato il volume del pallone.

Fig. 210 ($a = 18$).

Per ciò si immerge nel mercurio la punta affilata e se ne rompe l'estremità con una pinzetta. Siccome il vapore si è condensato e nel pallone si è fatto il vuoto, il mercurio, spinto dalla pressione atmosferica, vi si precipita e lo empie compiutamente, qualora tutta l'aria ne sia stata espulsa. Versando indi in una campana graduata il mercurio entrato nel pallone, si determina la capacità di quest'ultimo alla temperatura ordinaria. Con un facile computo se ne deduce il volume del pallone alla temperatura del bagno (257, probl. VI,) e quindi il volume del vapore alla stessa temperatura. Valutato con questo processo il peso di un certo volume di vapore ad una temperatura e ad una pressione determinata, il resto del calcolo si fa come fu esposto in seguito al processo di Gay-Lussac. Se rimanesse dell'aria nel pallone, esso non si riempirebbe totalmente di mercurio, ma il volume del mercurio introdotto rappresenterebbe ancora il volume del vapore.

Densità di alcuni vapori rispetto all'aria, a temperature alquanto superiori a quella di ebollizione del liquido che li produce.

Aria	1,0000	Vapore di solfuro di carbonio	2,6447
Vapore d'acqua	0,6235	— di essenza di trementina	5,0130
— d'alcoole	1,6138	— di mercurio	6,976.
— di etere solforico	2,5860	— d'iodio	8,716.

318. **Rapporto tra il volume di un liquido e quello del suo vapore.** — Conoscendosi la densità di un vapore, se ne deduce facilmente il volume che deve occupare un peso dato di questo vapore, alla tensione massima e ad una temperatura data. Sia proposto, per esempio, di calcolare il volume di un grammo di vapore d'acqua a 100° ed alla pressione 0m, 76.

Siccome la densità del vapore d'acqua a 100° rispetto all'aria è 0,6235, si avrà il peso di un litro di vapore d'acqua a 100° ed alla pressione 0m, 76 trovando il peso di un litro d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione, e moltiplicando questo peso per 0,6235. Ora, si è veduto (270, probl. V) che, rappresentando con P' il peso di un litro d'aria a t gradi, con P il peso dello stesso volume a zero, e con α il coefficiente di dilatazione dell'aria si ha $P = P'(1 + \alpha t)$; d'onde $P' = \frac{P}{1 + \alpha t}$. Per conseguenza, nel caso che consideriamo, il peso di un litro d'aria secca a 100° è

$$\frac{1^{gr},293}{1 + 0,00367 \times 100} = \frac{1^{gr},293}{1,367} = 0^{gr},946;$$

epperò un litro di vapore a 100° ed alla pressione 0m,76 pesa

$$0^{gr},946 \times 0,6235 = 0^{gr},898.$$

Per avere il volume V occupato da un grammo di vapore alla stessa temperatura ed alla stessa pressione, basta dividere 1gr. per 0,5898; da cui V = 1lit. 695 = 1695 centimetri cubi. Adunque l'acqua, trasformandosi in vapore a 100° ed alla pressione 0m,76, assume un volume circa 1700 volte maggiore di quello che aveva allo stato liquido.

CAPITOLO VI

IGROMETRIA.

319. **Oggetto dell' igrometria.** — L' *igrometria* ha per oggetto di determinare la quantità di vapore acqueo contenuto in un dato volume d' aria. Questa quantità è assai variabile, ma l'aria non è mai satura di vapore acqueo, almeno nei nostri climi. Essa non è nemmeno giammai perfettamente secca, perchè se si espongono all' aria delle sostanze *igrometriche*, cioè che hanno grande affinità per l'acqua, come il cloruro di calcio l'acido solforico, queste assorbono in ogni tempo del vapore acqueo.

320. **Stato igrometrico.** — Siccome l' aria, in generale, non è satura, si denomina *stato igrometrico* o *frazione di saturazione* dell' aria il rapporto tra la quantità di vapore d' acqua ch' essa attualmente contiene e la quantità che ne conterrebbe se fosse satura, a parità di temperatura. L' aria fredda può essere molto umida sebbene contenga poco vapore, ed al contrario la calda può essere poco umida quantunque ne contenga molto. Così, per esempio, sebbene l'aria contenga, in generale, maggior copia di vapore in estate che in inverno, nondimeno nella prima stagione è meno umida, perchè, essendo più alta la temperatura, il vapore è meno prossimo al punto di tensione massima. Parimenti, quando si scalda un appartamento, non si diminuisce la quantità di vapore ch' esso contiene, ma si diminuisce l' umidità dell' aria allontanando il suo punto di saturazione. Quest' aria potrebbe anche diventare talmente secca da nuocere alla economia animale: perciò è commendevole l'uso di collocare sulle stufe un vase pieno d' acqua.

Siccome la legge di Mariotte si applica anche ai vapori che non hanno la tensione massima (289), ne segue che, a temperatura ed a volume eguali, il peso del vapore in uno spazio non saturo è proporzionale alla pressione, e, per conseguenza, alla sua tensione. Adunque si può sostituire il rapporto delle quantità di vapore a quello delle forze elastiche corrispondenti, e dire che lo stato igrometrico dell' aria è *il rapporto tra la forza elastica del vapore acqueo ch' essa contiene e la forza elastica del vapore che conterrebbe alla stessa temperatura, qualora ne fosse satura.*

Cioè, rappresentando con f la tensione del vapore che si trova nell'aria, con F quella del vapore saturo alla stessa temperatura, e con E lo stato igrometrico, si ha $E = \frac{f}{F}$, d'onde $f = F \times E$.

Importa notare come da questa seconda definizione si deduca che, al variare della temperatura, l'aria può contenere la stessa quantità di vapore e non essere allo stesso stato igrometrico. Quando, per esempio, la temperatura cresce, la forza elastica del vapore che conterrebbe l'aria allo stato di saturazione può crescere più rapidamente che non la forza elastica del vapore trovantesi attualmente nell'aria, ed il rapporto di queste forze, cioè lo stato igrometrico, diventa minore.

Quanto prima si vedrà (328) come dallo stato igrometrico si deduca il peso del vapore contenuto in un dato volume d'aria.

321. **Differenti specie di igrometri.** — Si chiamano *igrometri* degli strumenti che servono a determinare lo stato igrometrico dell'aria. Ne furono immaginati moltissimi, che possono ridursi a quattro specie principali; cioè gli igrometri chimici, quelli ad assorbimento, gli igrometri a condensazione ed i psicrometri.

Il metodo del psicrometro consiste nell'osservare simultaneamente due termometri, uno dei quali è asciutto e l'altro ha le pareti esterne del serbatojo continuamente bagnate. Per mezzo del calcolo si deduce la frazione di saturazione dell'aria dalla differenza di temperatura dei due termometri, dalla temperatura assoluta di uno di essi e dall'altezza barometrica al momento dell'osservazione. Noi non descriveremo questo strumento perchè i fisici non sono ancora d'accordo intorno alla formola matematica, che fu data relativamente al suo uso da August, il quale ne fu l'inventore.

322. **Igrometri chimici.** — Il processo dell'igrometro chimico consiste nel far passare un noto volume d'aria su di una sostanza avida di acqua, per esempio, su del cloruro di calcio. Avendo pesata questa sostanza prima dell'esperimento e pesandola dopo, si trova un aumento di peso che indica quello del vapore il quale era contenuto nell'aria. Per far passare ad arbitrio un volume di aria più o meno considerabile si dispone l'esperimento come mostra la figura 221. Due serbatoj di ottone A e P costrutti nello stesso modo e di eguale capacità, servono successivamente come aspiratore. A questo

uopo sono fissati ad uno stesso asse intorno al quale si fanno alternativamente girare. Inoltre essi comunicano fra loro mediante una tubulatura centrale; mentre che con due tubulature praticate nell' asse sono sempre in comunicazione, l' inferiore coll' atmosfera ed il superiore, per

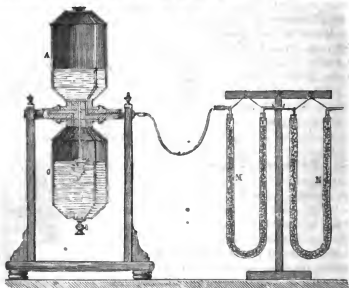



Fig. 221.

mezzo di un tubo di gomma elastica, con una serie di tubi M, N, pieni di cloruro di calcio o di pietra pomice imbevuta di acido solforico. Il primo di questi tubi, N, è destinato ad assorbire il vapore d' acqua contenuto nell' aria aspirata; il secondo, M, trattiene il vapore che tende passare dai serbatoj nel tubo N.

Ciò posto, il serbatojo inferiore essendo sempre pieno di acqua, e l' altro pieno di aria, si capovolge l' apparato in modo che il liquido affluisca lentamente da A in B. Effettuandosi allora il vuoto in A, l'aria rientra pei tubi N, M, sul primo dei quali viene assorbito tutto il vapore. Quando tutta l' acqua è effluita in B, si capovolge di nuovo l' apparato; incomincia lo stesso efflusso, e lo stesso volume d' aria è aspirato traverso il tubo N. In tal modo se la capacità di ciascun serbatojo è, per esempio, di 10 litri e si rovescia cinque volte l' apparato, 50 litri d' aria hanno attraversato il tubo N e vi si sono essiccati. Se, adun-

que, innanzi l'esperimento, si è pesato il tubo colle sostanze che contiene e se lo si pesa dipoi, l'aumento di peso dà la quantità di vapore acqueo contenuto in 50 litri d'aria all' istante dell' esperimento.

Da questo peso si deduce in seguito, col calcolo, lo stato igrometrico dell'aria. Questo processo è il più preciso, ma non presenta il grado di semplicità necessario per le osservazioni meteorologiche.

323. **Igrometri ad assorbimento.** — Gli igrometri ad assorbimento sono fondati sulla proprietà che hanno le sostanze organiche di allungarsi per l' umidità e di accorciarsi per la secchezza. Fra i varii igrometri ad assorbimento, che furono costrutti, il più comunemente adottato è l' *igrometro a capello* o *igrometro di Saussure,* fisico al quale ne è dovuta l' invenzione. Questo strumento è composto di un telajo di ottone (fig. 222), sul quale è teso un capello *c* previamente liberato dalle sue sostanze grasse mediante l'immersione nell'acqua contenente $^1/_{100}$ del suo peso di carbonato di soda. Se il capello contenesse tuttavia le sostanze grasse assorbirebbe soltanto una tenue quantità di vapore ed il suo allungamento sarebbe piccolissimo, mentre che privo di tali sostanze si allunga notabilmente passando dalla secchezza all'umidità.

Il capello *c* è tenuto fisso al suo estremo superiore da una pinzetta *a* chiusa da una vite di pressione *d*. Questa pinzetta si innalza o si abbassa, per tendere il capello, mediante una vite *b* a cui la madrevite è fissa. Se il capello fosse annodato ne risulterebbe una torsione che renderebbe irregolare l' allungamento. Alla sua parte inferiore il capello stesso si avvolge sopra una carrucola *o* a due gole alla quale è fissato. Sull' altra gola si avvolge, in verso contrario del capello, un filo di seta che sostiene un piccolo peso *p*. Finalmente, l'asse della carrucola porta un indice che si muove sopra un arco graduato. Il capello, nell' accorciarsi, esercita una trazione che fa alzare l' indice; quando il capello si allunga, il peso *p* fa discendere l' indice.

Fig. 222 ($a = 27$).

Per graduare l' arco, si segna zero al punto in cui, alla temperatura ordinaria, l' indice si ferma nell' aria affatto

asciutta, e 100 al punto in cui si ferma nell'aria satura di vapore acqueo; indi si divide l'intervallo fra questi due punti in 100 parti eguali, che sono i gradi dell'igrometro.

Si determina lo zero, ossia il punto di estrema secchezza, collocando l'igrometro sotto una campana di vetro in cui si essica l'aria introducendovi delle sostanze assai avide di acqua, come il cloruro di calcio od il carbonato di potassa deacquificato. L'aria della campana perde la propria umidità, e quindi il capello si accorcia e fa girare la carrucola e l'indice, ma assai lentamente. Soltanto dopo 15 o 20 giorni l'indice diventa stazionario, il che indica essere l'aria della campana compiutamente asciutta.

Allora si segna 0 sulla mostra, al punto corrispondente all'estremità dell'indice.

Si ottiene la posizione del punto di estrema umidità, levando dalla campana le sostanze essiccanti e bagnandone la pareti con acqua distillata, la quale, evaporandosi, satura ben presto l'aria della campana; il capello si allunga rapidamente. Il piccolo peso sostenuto dal filo, che si avvolge intorno alla carrucola in verso contrario a quello del capello, fa allora girar l'indice allontanandolo dallo zero. In meno di due ore l'indice ritorna ad essere stazionario; allora si segna 100 al punto in cui esso si ferma.

Secondo Saussure, un capello lungo circa 20 centimetri, quando il peso che lo tende sia di 3 decigrammi, cresce da zero a 100 di $^1/_{40}$ della sua lunghezza. Sembra che nei capelli biondi l'allungamento sia più regolare che in quelli di altri colori.

Non si ha riguardo alla dilatazione che subisce il capello per le variazioni di temperatura, perchè si è riconosciuto che per una differenza di 33° nella temperatura dell'aria, l'allungamento del capello fa variare la posizione dell'indice soltanto di $^3/_4$ d'un grado dell'igrometro. Fatta astrazione da questa piccola dilatazione, si osserva che l'indice dell'igrometro, qualunque sia la temperatura, ritorna sempre precisamente a zero nell'aria perfettamente secca, ed a 100 nell'aria satura di vapore acquoso. La stabilità di quest'ultimo punto dimostra che nell'aria satura il capello assorbe sempre la stessa quantità di acqua, qualunque sia la temperatura e quindi la densità del vapore.

Gli igrometri a capello presentano molti inconvenienti. Costrutti con capelli differenti, le loro indicazioni possono

variare di parecchi gradi, quantunque concordino nei due punti fissi. Inoltre, uno stesso igrometro non resta comparabile a sè medesimo, perchè il capello si allunga per la continua tensione prodotta dal peso che esso sostiene. Per ciò il miglior sistema di graduazione è quello di una mostra a zero arbitrario, sulla quale si determina di quando in quando la posizione dei punti di estrema secchezza e di estrema umidità. Soddisfacendo a queste due condizioni, l'igrometro a capello presenta ancora l'inconveniente di non far conoscere immediatamente lo stato igrometrico dell'aria. Faremo qui conoscere una tavola costrutta da Gay-Lussac per dedurre lo stato igrometrico dell'aria dalle indicazioni dell'igrometro a capello.

324. Tavola di correzione di Gay-Lussac. — L'esperienza dimostra che le indicazioni dell'igrometro a capello non sono proporzionali allo stato igrometrico dell'aria. Per esempio, quando l'indice segna 50 gradi, numero corrispondente al mezzo dell'arco graduato, l'aria è lungi dall'essere al grado medio di saturazione. Bisognò quindi trovare sperimentalmente lo stato igrometrico corrispondente a ciascun grado dello strumento. Gay-Lussac ha risolto questo problema fondandosi sul principio (293) che i vapori forniti da una soluzione salina od acida hanno, a temperatura eguale, una tensione massima tanto più debole, quanto maggiore è la quantità del sale o dell'acido sciolto.

Ciò posto, questo scienziato collocava l'igrometro a capello sotto una campana nella quale trovavasi una mescolanza d'acqua e d'acido solforico, e notava il grado dell'igrometro quando l'aria della campana era saturata di vapore. Per ottenere in seguito la tensione del vapore sotto la campana, faceva passare nel vuoto di un barometro alcune goccie della stessa soluzione acida che trovasi sotto la campana. Allora la depressione nel mercurio del barometro indicava la tensione del vapore sotto la campana, poichè alla tensione massima ed a temperatura eguale la forza elastica di un vapore è la stessa tanto nel vuoto quanto nell'aria (313, 1.ª). Finalmente, cercando nelle tavole delle forze elastiche (pag. 286) la tensione del vapore di acqua pura, alla temperatura dell'aria della campana, si avevano i due termini del rapporto che rappresenta lo stato igrometrico dell'aria (320) corrispondente al grado segnato dall'igrometro. Ripetendo questo esperimento con soluzioni acide più o meno concentrate, ed alla

temperatura di 10°, Gay-Lussac trovò dieci termini della seguente tavola; gli altri termini furono in seguito calcolati da Biot, per mezzo di formole d'interpolazione.

Stati igrometrici corrispondenti ai gradi dell'igrometro a capello, alla temperatura di 10°.

GRADI dell'igrometro	STATI igrometrici	GRADI dell'igrometro	STATI igrometrici
0	0,000	55	0,318
5	0,022	60	0,363
10	0,046	65	0,414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,50)
25	0,120	75	0,538
30	0,148	80	0,612
35	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0,791
45	0,241	95	0,891
50	0 278	100	1,000

Questa tavola fa vedere che soltanto a 72 gradi l'aria è al grado medio di saturazione. Siccome alla superficie del suolo l'indice dell'igrometro corrisponde generalmente a questo punto, così si conchiude che l'aria contiene in media la metà del vapore che conterrebbe quando fosse satura. Nei nostri climi l'igrometro non arriva giammai sino a 100 gradi, neppure in seguito alle pioggie più copiose. Anche nella massima secchezza giunge di rado al di là 30 gradi. Nelle regioni elevate dell'atmosfera si avanza, in generale, verso zero. Secondo Gay-Lussac, la sua tavola di graduazione era applicabile a tutti gli igrometri a capello, ma Regnault riconobbe che le indicazioni di questi strumenti variano coll'origine dei capelli, col loro colore, la loro sottigliezza, il processo col quale furono digrassati; di modo che, per ottenere delle indicazioni precise, sarebbe necessaria una tavola particolare per ciascun igrometro; d'onde si può dedurre quanto incompleti siano questi strumenti e quante incertezze e difficoltà si incontrino nel loro uso.

325. **Igrometro a condensazione di Daniell.** — Gli igrometri a condensazione hanno per oggetto di far conoscere, per mezzo del raffreddamento dell'aria, a quale temperatura il vapore che essa contiene sarebbe bastante per saturarla; tali sono gli igrometri di Daniell e di Regnault.

L'igrometro di Daniell è composto di due sfere di vetro riunite da un tubo, che presenta due ripiegamenti (fig. 223). La sfera A è piena per due terzi di etere, nel quale è immerso un piccolo termometro. Le due sfere ed il tubo sono compiutamente privi di aria, il che si ottiene facendo bollire l'etere che trovasi nella sfera A, mentre la sfera B è ancora aperta, e chiudendo quest'ultima alla lampada, quando si giudica che i vapori di etere abbiano espulsa tutta l'aria; di maniera che il tubo e la sfera B contengono soltanto del vapore d'etere.

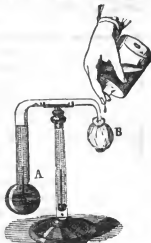



Fig. 223 ($a = 18$).

Si versa a goccia a goccia dell'etere sulla sfera B avviluppata di mussolina. Questo liquido, evaporandosi, raffredda la bolla (305) e condensa i vapori che essa contiene. Siccome allora la tensione interna è diminuita, l'etere della sfera A fornisce tosto nuovi vapori, che vanno parimenti a condensarsi nell'altra sfera, e così successivamente. Ora, di mano in mano che il liquido, evaporando, passa dalla sfera inferiore alla sfera superiore, l'etere contenuto nella prima si raffredda e giunge un istante in cui l'aria che si trova a contatto colla bolla A, raffreddandosi insieme con essa, arriva alla temperatura alla quale il vapor d'acqua, che vi è diffuso, basta per saturarla. Allora questo vapore si condensa e si vede depositarsi sulla sfera A un velo di rugiada sotto la forma di un anello che circonda la sfera presso alla superficie del liquido, dove, di fatti, l'evaporazione produce specialmente il raffreddamento. Il termometro interno indica nello stesso momento la temperatura del *punto di rugiada*, cioè la temperatura di saturazione dell'aria ambiente.

Per ottenere questo punto con maggiore approssimazione, si nota la temperatura anche all'istante in cui il vapore precipitato si dissipa pel riscaldamento, e si prende la media fra questa temperatura e quella della precipitazione. Mentre si fa quest'esperimento, conviene che l'igrometro sia esposto ad una corrente d'aria, per esempio su di una finestra aperta, perchè sia più rapida l'evaporazione del-

l'etere che si lascia cadere sulla mussolina. Finalmente, per rendere più visibile il deposito di rugiada, si costruisce d'ordinario la sfera A con vetro nero. La temperatura dell'aria è indicata da un termometro situato sul piede dell'apparecchio.

Quando l'igrometro di Daniell ha fatto in tal maniera conoscere la temperatura alla quale l'aria sarebbe satura, bisogna dedurne lo stato igrometrico. Per ciò, facciamo notare che, abbassandosi la temperatura in uno spazio libero contenente una mescolanza di aria e di vapore alla pressione atmosferica, la forza elastica del vapore resta costante fino al punto di saturazione. Difatti, la forza elastica della mescolanza è eguale alla somma delle forze elastiche di ciascun fluido (313, 2.ª), ma durante il raffreddamento dell'aria la sua tensione resta invariabile, poichè aumenta di tanto per la diminuizione di volume di quanto decresce per l'abbassamento di temperatura. La tensione del vapore deve quindi rimanere invariabile, perchè la forza elastica della mescolanza resta necessariamente eguale alla pressione dell'atmosfera, e prima e dopo del raffreddamento. Per conseguenza *quando l'aria si raffredda, la tensione del vapore in essa contenuto rimane costante, ed al punto di saturazione questa tensione è la stessa che prima del raffreddamento.*

Dietro siffatto principio, se si cerca nelle tavole delle forze elastiche (pag. 286) la tensione f corrispondente al punto di rugiada, questa tensione sarà precisamente eguale a quella posseduta dal vapore acquoso che si trova nell'aria al momento dell'esperienza. Quindi, cercando nelle stesse tavole la tensione massima F del vapore, alla temperatura dell'aria, il quoziente di f diviso per F rappresenterà lo stato igrometrico dell'aria (320). Per esempio, essendo 15° la temperatura, supponiamo che il termometro della sfera A segni 5° all'istante in cui si mostra la rugiada. Cercando nelle tavole delle forze elastiche le tensioni corrispondenti a 5° e a 15°, si trova f eguale 6^{mill}, 534 ed F eguale a 12^{mill}, 699; epperò il rapporto di f ad F, ossia lo stato igrometrico, è 0,514.

Nell'igrometro di Daniell si incontrano parecchie cause di errore: 1.ª siccome l'evaporazione nella sfera A raffredda il liquido soltanto alla superficie, così il termometro che vi si immerge non può indicare con precisione la temperatura del punto di rugiada; 2.ª l'osservatore, stando vicino all'apparato, modifica lo stato igrometrico dell'aria ambiente e la sua temperatura.

326. Igrometro di Regnault. — Regnault costrusse recentemente un igrometro a condensazione, il quale non presenta le cause d'errore di quello di Daniell. Questo apparato è composto di due campanelle d'argento assai sottili e ben terse, di 45 millimetri di altezza e di 20 di diametro (fig. 224), nelle quali penetrano due tubi di vetro D ed E. Ciascuno di essi contiene un termometro assai sensibile sostenuto per mezzo di un turacciolo. Il turac-

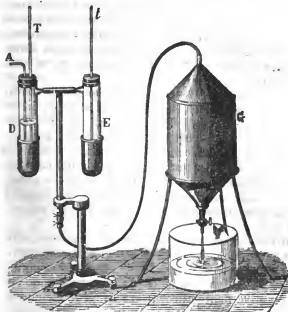



Fig. 224 ($a = 40$).

ciolo D è attraversato da un cannello A, il quale è aperto alle due estremità ed arriva sino al fondo della campanella d'argento. Finalmente, il tubo D, per mezzo dello stesso piede del sostegno e di un tubo di piombo, è messo in comunicazione con un aspiratore G pieno di acqua. Il tubo E non comunica coll'aspiratore, e contiene soltanto un termometro destinato a far conoscere la temperatura dell'aria all'istante in cui si eseguisce l'esperimento.

Per far funzionare l'igrometro di Regnault, si versa dell'etere nel tubo D, fino ad empirne circa la metà, poi si apre la chiave dell'aspiratore; l'acqua che lo riempie effluisce, e l'aria si rarefa nel tubo D. Allora entra dell'aria pel cannello A, per effetto della pressione atmosfe-

rica; ma quest'aria, siccome non può penetrare nel tubo D e nell'aspiratore se non passando a traverso dell'etere, riduce in vapore una parte di questo liquido e lo raffredda tanto più sollecitamente quanto è più rapido l'efflusso. Giunge un istante in cui il raffreddamento determina un deposito di rugiada sul vasetto d'argento, come avviene nell'igrometro di Daniell; e siccome allora il termometro T dà la temperatura corrispondente, così si hanno gli elementi necessarii per calcolare lo stato igrometrico.

In questo strumento tutta la massa d'etere trovasi alla stessa temperatura in causa dell'agitazione che le imprime la corrente d'aria; inoltre, le osservazioni si fanno in distanza per mezzo di un cannocchiale; in tal maniera è allontanata ogni causa d'errore.

327. **Igroscopii**. — Chiamasi *igroscopii* alcuni apparati i quali indicano bensì se nell'aria esiste in maggiore o minor copia il vapore, ma non ne fanno conoscere la quantità. Se ne costruiscono di parecchie sorta; i più generalmente adoperati sono quelli ai quali si dà la forma di figurine, la cui testa si copre di un cappuccio o si scopre a norma che l'aria è più o meno umida. Questi strumenti sono fondati sulla proprietà che hanno le corde e le minugie attorcigliate di storcersi per l'azione dell'umidità e di attorcigliarsi ulteriormente per la secchezza. Le loro indicazioni sono dovute ad una minugia fissata per uno de' suoi capi ed attaccata coll'altro al pezzo mobile. Questi igroscopii sono pigri, cioè non si muovono che con grandissima lentezza e le loro indicazioni sono sempre in ritardo relativamente alle variazioni igrometriche dell'aria; inoltre sono pochissimo sensibili.

328. PROBLEMI SULLA IGROMETRIA. — I. Calcolare il peso del vapore acqueo contenuto in un volume d'aria V, alla temperatura t e ad m gradi dell'igrometro a capello.

Per mezzo della tavola di Gay-Lussac (324) si trova lo stato igrometrico E corrispondente ad m gradi dell'igrometro, e nelle tavole delle forze elastiche (pag. 286) si trova la tensione F del vapore saturo a t gradi; quindi l'eguaglianza $f = F \times E$ (320) fa conoscere la forza elastica f del vapor d'acqua del quale si vuol conoscere il peso.

Ciò posto, siccome 1 litro d'aria a 0° ed alla pressione 76° pesa 1gr, 293, il suo peso a t^0 ed alla pressione f è $\frac{1^{gr}, 293 \times f}{(1 \times \alpha t) 76}$ (2°0 probl. VI). Quindi 1 litro di vapore, la cui densità è $\frac{5}{8}$, alla stessa temperatura ed alla

stessa pressione, pesa $\frac{1^{gr},293 \times f \times 5}{(1+\alpha t) 76 \times 8}$. Dunque, finalmente, il peso del vapore contenuto in V litri d'aria a t gradi, essendo E lo stato igrometrico, è $\frac{1^{gr},293 \times V \times f \times 5}{(1+\alpha t)\, 76 \times 8}$, valore che è indipendente dalla pressione atmosferica.

II. Calcolare il peso P d'un volume V di aria umida, il cui stato igrometrico è E, la temperatura t, la pressione H, essendo la densità del vapore $^5/_8$ di quella dell'aria.

Per risolvere questo problema, bisogna osservare che il volume dato di aria non è altro, dietro la seconda legge delle mescolanze dei gas e dei vapori, che una mescolanza di V litri di aria secca a t gradi ed alla pressione H, meno quella del vapore, e di V litri di vapore a t gradi ed alla tensione data dallo stato igrometrico; si tratta quindi di trovare separatamente il peso dell'aria ed il peso del vapore.

Ora, la nota formola $f = F \times E$ (320) serve a calcolare la tensione f del vapore che si trova nell'aria, poichè E è dato ed F si trova nelle tavole delle forze elastiche. Una volta conosciuta la tensione f, se si rappresenta con f' la tensione dell'aria, si ha $f + f' = H$, d'onde

$$f' = H - f = H - FE.$$

La questione è dunque condotta a calcolare il peso di V litri di aria secca a t gradi ed alla pressione H — FE, indi quella di V litri di vapore parimenti a t gradi ma alla pressione FE.

Ora, è noto che V litri di aria secca a t, gradi ed alla pressione H — FE pesano $\frac{1^{gr},293\, V\, (H - FE)}{(1+\alpha t)\, 76}$ (270 probl. VI), e si vede nel problema precedente che V litri di vapore a t gradi ed alla pressione FE pesano $\frac{1^{gr},293\, V \times FE \times 5}{(1+\alpha t)\, 76 \times 8}$; quindi, finalmente, facendo la somma dei due pesi ottenuti e riducendo, si ha

$$P = \frac{1^{gr}\,239\; V\, (H - \frac{5}{8} FE)}{(1+\alpha t)\, 76} \quad (A).$$

Se l'aria fosse satura si avrebbe E = 1, ed allora questa formola si cangierebbe in quella già trovata per le mescolanze dei gas e dei vapori saturi (314, probl. III).

Siccome la formola (A) contiene, oltre il peso P, parecchie quantità variabili V, E, H, t possiamo, prendendo successivamente ciascuna di queste quantità per incognite, proporci altrettanti problemi dei quali si otterrebbe la soluzione sciogliendo l'equazione (A) relativamente a V, ad E, ad H od a t. Il seguente problema ce ne offre un esempio.

III. Calcolare, a t gradi ed alla pressione H, il volume di un peso d'aria

P il cui stato igrometrico sia E, la densità del vapore essendo $\frac{5}{8}$, e la sua tensione F a t gradi essendo conosciuta col mezzo delle tavole delle forze elastiche.

Risolvendo, relativamente a V l'equazione (A) del problema precedente, si trova $V = \frac{P\,(1 + \alpha t)\,76}{1^{gr},293\,(H - \frac{3}{8}\,EF)}$ (B).

Si può anche risolvere direttamente questo problema. Per ciò, il peso P essendo una mescolanza di aria secca a t gradi ed alla pressione H — FE, e di vapore a t gradi ed alla pressione FE, si rappresenti con x il peso dell'aria, con y il peso del vapore; dietro l'enunciato si ha $x \times y = P$ (1). Ma siccome la densità del vapore acqueo è $\frac{5}{8}$ di quella dell'aria, y deve eguagliare $\frac{5}{8}$ di x a pressione eguale. Ora, poichè il volume d'aria cercato pesa x alla pressione H — FE, il suo peso, alla pressione FE, che è quello del vapore, non è più che $\frac{x \times FE}{H - FE}$, dunque

$$y = \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE}$$

Portando questo valore di y nell'equazione (1) si ottiene

$$x + \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE} = P, \text{ d'onde } x = \frac{P\,(H - FE)}{H - \frac{3}{8}\,FE}.$$

Conosciuto il peso dell'aria, si otterrà il suo volume in litri cercando quante volte questo peso contenga quello di un litro d'aria a t gradi ed alla pressione H — FE. Ora, siccome 1 litro d'aria a 0^0 ed alla pressione 76^c pesa 1^{gr} 293, il suo peso a t gradi ed alla pressione H — FE è $\frac{1^{gr},293\,(H - FE)}{(1 + \alpha t)\,76}$. Quindi, finalmente,

$$V = \frac{P\,(H - FE)}{H - \frac{5}{8}\,FE} : \frac{1^{gr},293\,(H - FE)}{(1 + \alpha t)\,76} = \frac{P\,(1 + \alpha)\,76}{1^{gr},293\,(H - \frac{3}{8}\,FE)},$$

formola che è la stessa superiormente ottenuta (B).

IV. **Correzione della perdita di peso che subiscono i corpi pesati nell'aria.** — Trattando della bilancia (51) abbiamo veduto che ogni peso

determinato con quest'apparato non è che un peso apparente, minore del peso reale. Quest'ultimo si deduce dal peso apparente, fondandosi su ciò che qualsiasi corpo pesato nell'aria perde del suo peso un peso eguale a quello dell'aria spostata (160); nondimeno la soluzione di questo problema è piuttosto complicata, poichè non solo il peso dell'aria spostata varia colla pressione, la temperatura e lo stato igrometrico, ma il volume del corpo che vuolsi pesare e quello dei *pesi* metrici od altri diversi che si adoperino variano anch'essi colla temperatura: di modo che debbesi fare una correzione doppia, una relativa ai *pesi*, l'altra al corpo che si pesa.

1.ª *Correzione relativa ai pesi.* — Per fare questa correzione, si rappresentino con P il loro peso nell'aria, con Π il loro peso reale nel vuoto, con V il volume di questi *pesi* a 0°, con K il coefficiente di dilatazione lineare della sostanza della quale sono formati, e con D la densità della medesima. Siccome il volume V, a t gradi, diventa $V(1+3Kt)$, tale è pure il volume d'aria spostata dai *pesi*. Quindi, se si rappresenta con μ il peso di un litro d'aria a t gradi ed alla pressione H all'istante della pesata, si avrà

$$P = \Pi - \mu V (1 + 3Kt).$$

Ma, dietro la formola conosciuta $P = VD$ (106), a V si può sostituire $\frac{\Pi}{D}$, ed allora la formola precedente diventa

$$P = \Pi \left[\frac{1 - \mu (1 + 3\ Kt)}{D} \right] (2),$$

la quale fa conoscere il valore nell'aria di un *peso* rappresentato con Π, quando a μ si sostituisca il suo valore. Ora, essendo μ il peso di un litro d'aria più o meno umida alla temperatura t ed alla pressione H, il suo valore si calcola coll'equazione (1) trovata nel problema II.

2.ª *Correzione relativa al corpo che si pesa.* — Si rappresentino ora con p il peso apparente dell'oggetto che vuolsi pesare, con π il suo peso reale nel vuoto, con d la sua densità, con K' il suo coefficiente di dilatazione e con t la temperatura; cogli stessi ragionamenti precedenti si trova,

$$p = \pi \left[1 - \frac{\pi (1 + 3\ K't}{d} \right] (2).$$

Ciò posto, usando il metodo delle doppie pesate e una tara il cui peso apparente sia p', π' il peso reale, d' la densità, k' il coefficiente; e ammettendo che la temperatura e la pressione non cangino, come è il caso generale, si ha ancora

$$p' = \pi' \left[1 - \frac{\mu (+ 3\ k'\ t)}{d'} \right] (3).$$

Quindi, se si rappresentano con a e con b le due braccia del giogo, nella prima pesata (51) si avrà $ap = bp'$ e nella seconda $aP = bp'$; d'onde

$p = P$. Sostituendo a P ed a p i loro valori cavati dalle equazioni (1) e (2) più sopra esposte, si ha

$$\pi \left[1 - \frac{\mu (1 + 3\, kt)}{d} \right] = \Pi \left[1 - \frac{\mu\, (1 + 3\, Kt)}{D} \right],$$

$$\text{d'onde } \pi = \frac{\Pi \left[\frac{1 + \mu\, (1 + 3\, Kt)}{D} \right]}{1 - \frac{\mu\, (1 + 3\, kt)}{d}} \quad (4),$$

la quale risolve il problema.

CAPITOLO VII.

CALORIMETRIA, TEORIA DINAMICA DEL CALORICO.

329. Oggetto della calorimetria; caloria. — L'oggetto della *calorimetria* è quello di misurare la quantità di calorico che i corpi cedono od assorbono, quando la loro temperatura si abbassa o si innalza di un numero conosciuto di gradi, o quando cangiano di stato.

Non è possibile misurare la quantità assoluta di calorico perduto o guadagnato da un corpo; si può soltanto misurarne la quantità relativa, cioè il rapporto tra questa quantità assoluta e quella che assorbisce un altro corpo per produrre un dato effetto: per ciò si convenne di prendere come *unità di calorico* (e questa unità si chiamò *caloria*) la quantità di calorico necessaria per elevare da 0° ad 1° la temperatura di un chilogrammo d' acqua.

330. Calorico specifico. — Chiamasi *calorico specifico* o *capacità calorifica* di un corpo la quantità di calorico che questo corpo assorbisce, comparativamente a quella che assorbirebbe un egual peso di acqua, quando la sua temperatura si innalza da 0° ad 1°; il che equivale a prendere per unità il calorico specifico dell' acqua.

Si riconosce agevolmente che tutti i corpi non hanno lo stesso calorico specifico. Se, per esempio, si mescola un chilogrammo di mercurio a 100° con un chilogrammo d' acqua a 0°, si osserva che la temperatura della mescolanza è soltanto di 3° all' incirca; cioè, che la quantità di calorico perduta dal mercurio, mentre si raffredda di 97°, riscalda soltanto di 3° lo stesso peso di acqua. Quindi l' acqua, a peso eguale, assorbisce una quantità di calorico circa 32 volte maggiore di quella che assorbisce il mercurio, per uno stesso innalzamento di temperatura.

Per la determinazione dei calorici specifici si adoperarono tre metodi; quello della fusione del ghiaccio, quello delle mescolanze e quello del raf-

freddamento. In quest' ultimo metodo si desume il calorico specifico di un corpo dal tempo che esso impiega per raffreddarsi di un numero di gradi conosciuto. Noi esporremo soltanto i due primi metodi; ma prima di tutto è necessario far conoscere come si misuri la quantità di calorico assorbito da un corpo di cui si conoscano la massa ed il calorico specifico, quando la sua temperatura si innalza di un certo numero di gradi.

331. Misura del calorico sensibile assorbito dai corpi. — Si rappresenti con m il peso di un corpo in chilogrammi, con c il suo calorico specifico e con t la sua temperatura. Siccome si è presa per unità la quantità di calorico necessaria per elevare da 0° ad 1° la temperatura di un chilogrammo di acqua, così abbisogna un numero m di queste unità per elevare da 0° ad 1° la temperatura di m chilogrammi di acqua, e per elevarla da 0° a t gradi, se ne richiede un numero t volte maggiore, cioè un numero mt. Ora, poichè tale è la quantità di calorico necessaria per portare da 0° a t gradi la temperatura di m chilogrammi di acqua il cui calorico specifico è 1, è evidente che per un corpo dello stesso peso, il cui calorico specifico sia c, se ne richiede c volte mt, o mtc. D'onde si conchiude, che quando un corpo si riscalda da 0° a t gradi, *la quantità di calorico che esso assorbisce può essere rappresentata dal prodotto che si ottiene moltiplicando il suo peso per la sua temperatura finale e pel suo calorico specifico*. Questo principio è la base delle formole che ci serviranno alla determinazione dei calorici specifici.

Se il corpo si scalda o si raffredda da t a t' gradi, la quantità di calorico assorbito o ceduto sarà parimenti rappresentata dalla formola

$$m\,(t'-t)\,c, \text{ ovvero } m\,(t-t')\,c.$$

332. Metodo delle mescolanze. Per calcolare il calorico specifico di un corpo solido o liquido col metodo delle mescolanze, si pesa questo corpo e lo si porta ad una temperatura conosciuta, il che si ottiene, ove esso sia solido, tenendolo immerso per un certo tempo in una corrente di vapore a 100°, indi lo si immerge in una massa d'acqua fredda di cui si conoscono parimenti il peso e la temperatura. Si deduce poscia il calorico specifico del corpo dalla quantità di calorico che esso cede all'acqua.

Fig. 225.

L'apparato che si adopera per quest'esperimento è un *calorimetro ad acqua*. Esso risulta di un recipiente cilindrico di ottone o d'argento, a pareti sottili e levigate, sostenuto da fili di seta (fig. 225), allo scopo di evitare la perdita di calore per conduttività. Questo recipiente è pieno d'acqua, nella quale si immerge un termometro sensibilissimo; una cannuccia di vetro a serve ad agitare il liquido, mentre si riscalda

Ciò posto, rappresentiamo con M il peso del corpo, con T la sua temperatura all'istante in cui viene immerso nel liquido, e con c il suo calorico specifico.

Parimenti si rappresenti con m il peso dell'acqua fredda e con t la sua temperatura.

Finalmente, si rappresenti con m' il peso del vase contenente l'acqua, con c' il suo calorico specifico e con t la sua temperatura, la quale è evidentemente quella dell'acqua.

Appena che il corpo caldo è immerso nel liquido, la temperatura di quest'ultimo si eleva, e, rappresentando con θ la più alta temperatura cui esso arriva, si vede che il corpo si è raffreddato di un numero di gradi rappresentando da $(T - \theta)$ e quindi che ha perduto una quantità di calorico la quale ha per misura $Mc\,(T - \theta)$ (331). Invece, l'acqua ed il vase si sono riscaldati di un numero di gradi eguale a $(\theta - t)$ ed assorbirono rispettivamente delle quantità di calorico eguali ad $m\,(\theta - t)$ e ad $m'c'\,(\theta - t)$, poichè il calorico specifico dell'acqua è l'unità. Ora, la quantità di calorico ceduta dal corpo caldo è evidentemente eguale alla somma delle quantità di calorico assorbite dall'acqua e dal vase; si ha perciò l'equazione,

$$Mc\,(T - \theta) = m\,(\theta - t) + m'\,c'\,(\theta - t)\ (1),$$

dalla quale si deduce facilmente il valore di c, quando il calorico specifico c' del vase sia noto. Se non lo fosse, si dovrebbe cominciare col determinarlo, immergendo nell'acqua un corpo caldo della stessa sostanza del vase ed avente, per conseguenza, lo stesso calorico specifico. La precedente equazione assume allora la forma

$$Mc'\,(T - \theta) = m(\theta - t) + m'\,c'\,(\theta - t)\ (2),$$

cioè, la sola incognita contenuta in questa equazione è c'.

Essendo conosciuto il calorico specifico del vase, per risolvere l'equazione (1) superiormente trovata, si scriva nel secondo membro $(\theta - t)$ come fattore comune, ed allora si avrà

$$Mc(T - \theta) = (m + m'\,c')\,(\theta - t)\ (3);$$

dividendo i due membri per $M\,(T - \theta)$, risulta

$$c = \frac{(m + m'\,c')\,(\theta - t)}{M\,(T - \theta)} (4).$$

Si scrive spesso il valore di c sotto questa forma:

$$c = \frac{(m + \mu)\,(\theta - t)}{M\,(T - \theta)}\ (5),$$

mettendo $m\,c' = \mu$, cioè indicando con μ il peso di acqua che assorbirebbe la medesima quantità di calorico del vase, il che si esprime dicendo che il vase è *ridotto* in acqua.

Finalmente, per dare al metodo delle mescolanze tutta la precisione di cui è suscettibile, devesi anche tener conto del calorico assorbito dal vetro e dal mercurio del termometro.

Allo scopo di eliminare l'errore che sarebbe cagionato dalle perdite di calorico dovute all'irradiazione nel processo che abbiamo descritto, si fa innanzi tutto un primo esperimento col corpo stesso di cui cercasi il calorico specifico, al solo intento di conoscere approssimativamente il numero di gradi di cui deve elevarsi la temperatura dell'acqua e del vase. Se, per

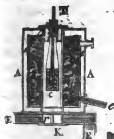



Fig. 227.

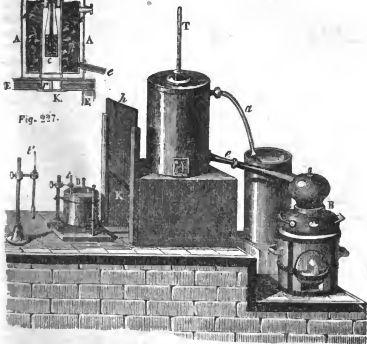



Fig. 226.

esempio, questo numero è 10°, si fanno raffreddare l'acqua ed il vase di un numero di gradi corrispondente alla metà, ossia di 5°, al di sotto della temperatura dell'aria ambiente; indi si procede all'esperimento definitivo. Se la temperatura dell'acqua si eleva allora di circa 10°, ne risulta che il vase, la cui temperatura era dapprima di 5° al di sotto di quella dell'ambiente, si trova, alla fine dell'esperimento, di 5° al di sopra. Per ciò si compensano la perdita ed il guadagno di calorico che provengono dall'irradiazione durante l'esperimento.

333. **Apparato di Regnault pel metodo delle mescolanze.** — La fig. 226 rappresenta l'apparato di cui fece uso Regnault per la ricerca dei calorici specifici col metodo delle mescolanze.

La parte principale di questo apparato è una stufa A A rappresentata in sezione nella fig. 227. Questa stufa ha tre compartimenti cilindrici: nel compartimento centrale è sospeso ad un filo di seta un cestello *c* di fili di ottone, entro il quale si colloca la sostanza su cui si vuole esperimentare dopo averla frantumata. Un termometro T, collocato entro questa sostanza, ne fa conoscere la temperatura. Nel secondo compartimento *p p* circola una corrente di vapore la quale, da un generatore B, giunge nella camera per mezzo di un tubo *g*, indi pel condotto *a* va in un serpentino, entro il quale si condensa. Il terzo compartimento *e e*, pieno d'aria, è destinato a diminuire le perdite di calorico. Sotto alla stufa trovasi una camera K circondata da doppia parete EE: l'intervallo tra l'una e l'altra parete è pieno d'acqua fredda, la quale impedisce la trasmissione del calorico dal forno e dal generatore. Il compartimento centrale della stufa è chiuso da un registro *r*, che si può aprire ad arbitrio per far passare il cestello *c* dalla stufa nella camera K.

A sinistra della stufa si vede un piccolo vase di ottone D a pareti sottilissime, sospeso, per mezzo di fili di seta, ad un piccolo carro che può scorrere entro scanalature per giungere alla camera K. Questo vase D, che deve servire di calorimetro, è pieno d'acqua entro la quale trovasi immerso un termometro *t*, che ne misura la temperatura. Da ultimo un termometro *t'*, posto vicino all'apparato, dà la temperatura dell'aria ambiente.

Essendo così disposto l'apparato, quando il termometro T indica che la sostanza collocata nel cestello *c* si è posta in equilibrio di temperatura, il che accade a capo di due ore e mezzo ovvero tre, si solleva il diaframma *h* e si fa avanzare il vase D sino a che trovisi al di sotto del compartimento centrale della stufa. Allora, tirando il registro *r*, si lascia cadere rapidamente, nell'acqua del vase D, il cestello *c* e tutto ciò ch'esso contiene, ad eccezione del termometro T, il quale resta sospeso al turacciolo che lo sostiene. Si ritirano subito il carro ed il vase D, e si agita l'acqua contenuta in quest'ultimo fino a che il termometro *t* indichi una temperatura stazionaria. Questa temperatura è appunto quella che si è rappresentata con θ nel paragrafo 332. Conosciuta questa temperatura, si procede come si disse nel citato paragrafo, computando però anche il calorico ceduto al calorimetro dal cestello di ottone. Regnault tenne eziandio conto del calorico assorbito dal mezzo ambiente.

334. **Metodo della fusione del ghiaccio.** — Il metodo che ora descriveremo è fondato sul calorico latente assorbito dal ghiaccio che si fonde; quantità di calorico la quale, come vedremo ben presto (341), è di 79 unità per ogni chilogrammo di ghiaccio. L'apparecchio usato in questo metodo è dovuto a Lavoisier ed a Laplace, e porta il nome di *calorimetro di ghiaccio*. La figura 228 ne rappresenta l'esterno, e la figura 229 ne mostra

una sezione. Quest'apparato risulta di tre vasi concentrici di latta. In quello che trovasi al centro si colloca il corpo M (fig. 229) di cui si cerca il calorico specifico: gli altri due compartimenti sono pieni di ghiaccio frantumato. Il ghiaccio del compartimento A è destinato ad essere fuso dal corpo

Fig. 228.

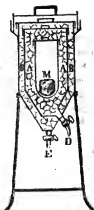



Fig. 229.

caldo, e quello del compartimento B serve soltanto a trattenere il calorico irradiato dall'ambiente sull'apparecchio. Due chiavette D ed E servono all'efflusso dell' acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio.

Per trovare il calorico specifico di un corpo solido per mezzo di questo calorimetro, si determina dapprima il peso m di questo corpo in chilogrammi, indi lo si porta ad una temperatura conosciuta t, tenendolo per qualche tempo in un bagno caldo d'acqua o d'olio, ovvero in una corrente di vapore; in seguito si colloca sollecitamente questo corpo nel vase centrale, si rimettono tosto i coperchi e vi si sovrappone del ghiaccio, come mostra la figura. Allora si raccoglie l'acqua che effluisce dalla chiavetta D, e se ne determina il peso P in chilogrammi appena che ne cessa l'efflusso; questo peso rappresenta evidentemente quello del ghiaccio fuso. Ora, siccome un chilogrammo di ghiaccio assorbisce, nel fondersi, 79 unità di calorico, P chilogrammi assorbirono P volte 79 unità. D'altra parte, questa quantità di calorico è necessariamente eguale a quella che fu ceduta dal corpo M durante il suo raffreddamento da t gradi a zero, cioè ad mtc (341); perchè si ammette come evidente che un corpo, nel raffreddarsi da t gradi a zero, cede precisamente la quantità di calorico che avrebbe assorbito per riscaldarsi da zero a t gradi. Si ha quindi l' eguaglianza

$$mtc = 79\ \mathrm{P}\ ;\ \text{d'onde}\ c = \frac{79\ \mathrm{P}}{mt}.$$

Il metodo del calorimetro di ghiaccio offre molte cause di errori. La principale è che una parte dell'acqua proveniente dalla fusione rimane aderente al ghiaccio che non è stato fuso; quindi il peso P non può essere valutato esattamente. Inoltre, l'aria esterna che penetra nel calorimetro, a traverso le chiavette, aumenta la quantità del ghiaccio fuso. Si ovvia in parte a tali inconvenienti sostituendo al calorimetro il *pozzo di ghiaccio*. Si dà questo nome ad un foro che si pratica, per mezzo di un ferro caldo, in un pezzo di ghiaccio compatto, e nel quale si colloca il corpo di cui si cerca il calorico specifico, dopo di averlo riscaldato sino ad una temperatura conosciuta (fig. 230). Resi regolari i lembi del foro con un ferro caldo, lo si copre con un pezzo di ghiaccio conformato in modo che lo chiuda esattamente. Quando si giudica che il corpo sia raffreddato sino a zero, lo si toglie insieme all'acqua di fusione e, determinato il peso di quest' ultima, altro non resta che sostituirlo nella formola precedente.

Fig. 230.

335. Calorico specifico dei liquidi. — Il calorico specifico dei liquidi si può del pari determinare o col metodo del raffreddamento o con quello delle mescolanze ovvero con quello del calorimetro di Lavoisier e Laplace.

Quando si voglia seguire quest'ultimo metodo, si deve chiudere il liquido in un piccolo vase di latta o in un cannello di vetro, che si colloca nel compartimento M (fig. 229).

Paragonando tra loro i numeri della tabella seguente, si vede che l'acqua e l' essenza di trementina hanno un calorico specifico molto maggiore di quello delle altre sostanze e specialmente dei metalli. Questa anzi è una proprietà generale dei liquidi. La grande capacità dell' acqua pel calorico ci spiega la lentezza colla quale questo liquido si scalda o si raffredda; e per essa intendiamo come questo liquido assorbisca od emetta maggiore quantità di calorico che qualsiasi altra sostanza a parità di massa e per eguali variazioni di temperatura. Queste proprietà dell' acqua ci servono utilmente nella tempera dell' acciajo e nel riscaldamento colla circolazione d'acqua calda, del quale parleremo più innanzi (401).

336. Calorico specifico medio de' solidi e dei liquidi tra zero e 100 gradi. — Regnault ha calcolato, col metodo delle mescolanze e con quello del raffreddamento, il calorico specifico di moltissimi corpi. Noi riportiamo qui i numeri ch'egli ha ottenuto, mediante il primo di questi due metodi, per i corpi che più di frequente si adoperano nelle arti.

SOSTANZE	CALORICI specifici	SOSTANZE	CALORICI specifici
Acqua	1,0080.	Cobalto.	0,10694
Essenza di trementina .	0,42 90	Zinco.	0,09555
Nero animale calcinato .	0,26085	Rame.	0,09515
Carbone di legno calc°.	0,24111	Ottone.	0,09391
Solfo	0,20259	Argento	0,05701
Grafite	0,20187	Stagno	0,05623
Vetro dei termometri . .	0,19768	Jodio	0,05412
Fosforo.	0,18870	Antimonio.	0,05077
Diamante.	0,14687	Mercurio.	0,03332
Ghisa bianca.	0,12983	Oro	0,03243
Ferro.	0,11379	Platino laminato. . .	0,03243
Acciajo dolce	0,1175.	Piombo	0,03140
Nichelio . . . . :	0,10863	Bismuto	0,03084

I numeri contenuti in questa tavola rappresentano i calorici specifici medii fra 0° e 100°; di fatti, risulta dai lavori di Dulong e Petit che i calorici specifici aumentano colla temperatura. Per esempio, quelli dei metalli sono maggiori fra 100° e 200° che non siano fra 0° e 100°, e maggiori ancora da 200° a 300°. Cioè, per elevare la temperatura di un corpo da 200° a 250°, si richiede una quantità di calorico maggiore di quella che abbisogna per elevarla da 100° a 150°, e, in quest'ultimo caso, una quantità maggiore di quella che si richiede per innalzarla da 0° a 50°.

Si può dunque dire che l'aumento del calorico specifico dei solidi al crescere della temperatura è tanto più sensibile quanto più essi si avvicinano al loro punto di fusione. Al contrario, ogni azione che aumenti la densità dei corpi e favorisca la loro aggregazione molecolare fa decrescere il loro calorico specifico.

Il calorico specifico dei liquidi, coll'innalzarsi della temperatura, cresce in un rapporto ancora maggiore di quello dei solidi. L'acqua sola fa eccezione, perchè il suo calorico specifico cresce molto meno di quello degli altri liquidi.

Finalmente, il calorico specifico di una sostanza cresce quando essa sia passata allo stato liquido, ed ancora più quando siasi ridotta allo stato aeriforme.

337. Legge di Dulong e Petit circa il calorico specifico degli atomi. — I fisici Dulong e Petit fecero conoscere nel 1818 questa notabile legge, che il prodotto del calorico specifico di un corpo semplice pel suo peso atomico è eguale a 37; la qual legge, si può enunciare dicendo che *pei corpi semplici i calorici specifici sono in ragione inversa dei pesi atomici*.

Regnault, dopo avere determinato con molta cura i calorici specifici di molti corpi, trovò che il prodotto del peso atomico pel calorico specifico non è costante, come aveano annunciato i citati fisici, ma varia tra 38 e

42, le quali variazioni possono provenire dall' avere determinate le capacità specifiche dei corpi a diverse distanze dalle loro temperature di fusione.

Regnault giunse inoltre a trovare queste due leggi circa il calorico specifico dei corpi composti e delle leghe:

1.ª *Nei corpi composti che hanno la stessa formola atomica il calorico specifico è in ragione inversa del peso atomico.*

2.ª *Per temperature alquanto lontane da quelle di fusione, il calorico specifico delle leghe è esattamente la media dei calorici specifici dei metalli allegati.*

338. Calorico specifico dei gas. — Il calorico specifico dei gas viene riferito a quello dell'acqua od a quello dell'aria; nel primo caso, esso rappresenta la quantità di calorico necessaria per elevare di un grado un peso dato di gas, comparativamente a quello che si richiederebbe pel medesimo peso di acqua; nel secondo, la quantità di calorico necessaria per elevare di un grado un volume dato di gas, comparativamente a quello che si richiederebbe per lo stesso volume di aria.

Inoltre, in quest' ultima maniera di considerare i calorici specifici dei gas, si può supporre che i gas stessi siano a *pressione costante* ed a volume variabile, od a *volume costante* sotto differenti pressioni.

I calorici specifici dei gas relativamente all'acqua furono determinati, nel 1812, da Delaroche e Bérard. A quest' uopo si misurava la quantità di calorico ceduto ad un peso conosciuto di acqua da un peso parimenti noto di gas, il quale circolava in un serpentino collocato nel liquido. Se ne deduceva successivamente il calorico specifico del gas per mezzo di un calcolo analogo a quello che fu indicato pel metodo delle mescolanze.

Gli stessi fisici determinarono i calorici specifici dei gas a pressione costante, relativamente all'aria, paragonando fra loro le quantità di calorico cedute ad uno stesso peso d' acqua da volumi eguali di gas e d' aria, alla stessa temperatura ed alla pressione atmosferica durante il corso intero dell'esperimento. In seguito ai lavori di Delaroche e Bérard, De la Rive e Marcet, nel 1835, applicarono alla stessa determinazione il metodo del raffreddamento.

Finalmente, i calorici specifici de' gas, a volume costante, sempre relativamente all'aria, furono calcolati da Dulong per mezzo di una formola che fa conoscere la velocità di propagazione del suono nei differenti gas.

Giusta i calcoli di Laplace e Poisson e le esperienze di Clement e Desormes, di Delaroche, di Gay-Lussac e di Dulong, si era ammesso sino a questi ultimi tempi che il calorico specifico dei gas a pressione costante fosse sempre maggiore del loro calorico specifico a volume costante. Ma in un recente lavoro, e con un metodo affatto nuovo, Regnault avrebbe dimostrato che la differenza tra i due calorici specifici suddetti è nulla o quasi nulla.

Delaroche e Bérard hanno stabilito la prima delle seguenti leggi sui calorici specifici dei gas, e Dulong la seconda:

1.º *A volume eguale tutti i gas semplici hanno calorici specifici eguali.*

2.° *Quando due gas semplici si conbinano senza condensazione, il gas risultante possiede, a volume eguale, lo stesso calorico specifico dei gas componenti.*

Ma gli esperimenti di Regnault fecero conoscere che la prima di queste leggi è rigorosa soltanto pei gas soggetti alla legge di Mariotte, ossia lontani dal loro punto di liquefazione. Gli stessi esperimenti non confermano la seconda legge.

Calorici specifici dei gas semplici relativamente all' acqua.

GAS	A VOLUME EGUALE	A PESO EGUALE
Ossigeno	0,24049	0,21751
Idrogeno	0,23590	0,40000
Azoto	0,23680	0,24380
Cloro	0,29645	0,12099

339. Misura del calorico latente di fusione. — Abbiamo detto (277), che quando i corpi passano dallo stato solido al liquido accade assorbimento di una più o meno considerabile quantità di calorico, che viene in tal caso assorbita dall' unità di peso delle varie sostanze. Questa questione si risolve col metodo delle mescolanze, partendo dal principio, ammesso come evidente, che un corpo, nel solidificarsi, sviluppa una quantità di calorico esattamente eguale a quella che aveva assorbito durante la fusione.

Suppongasi, per esempio, che venga proposto di determinare il calorico di fusione del piombo. Si fonde un peso M di questo corpo, e, dopo di averne riconosciuta la temperatura T, lo si versa in una massa d'acqua di cui sia noto il peso m e la temperatura t. Ciò posto, si rappresenti con c il calorico specifico del piombo, con x il suo calorico di fusione, cioè la quantità di calorico latente assorbita dall' unità di peso nell' atto della fusione, o, ciò che torna lo stesso, quella che viene restituita durante la solidificazione; da ultimo sia θ la temperatura finale che assume l' acqua scaldata dal piombo.

La massa d' acqua, per elevarsi da t a θ gradi, assorbì una quantità di calorico rappresentata da $m\ (\theta = t)$ (331); d'altronde, la massa di piombo, nel raffreddarsi da T a θ, ha ceduto una quantità di calorico $Mc\ (T - \theta)$, ed inoltre, al momento della solidificazione, ha sviluppato una quantità di calorico rappresentata da Mx. Si ha quindi l'equazione

$$Mc\ (T - \theta) + Mx = m\ (\theta - t),$$

$$\text{d'onde } x = \frac{m\ (\theta - t) - Mc\ (T - \theta)}{M}.$$

340 Calorico di fusione del ghiaccio. — Il calorico di fusione del ghiaccio è quello che più importa di conoscere a motivo delle applicazioni che se ne possono fare. Esso viene parimenti determinato col metodo delle mescolanze. Per ciò, si rappresenti con M un peso di ghiaccio a zero, e con m un peso di acqua calda a t gradi, sufficiente per fondere tutto il ghiaccio. Si getta quest'ultimo nell'acqua, ed appena che la fusione è compiuta, si misura la temperatura finale della mescolanza. Se si rappresenta con θ questa temperatura, l'acqua raffreddata da t gradi a θ ha ceduto una quantità di calorico eguale ad $m(t-\theta)$. Il ghiaccio poi, ove si rappresenti con x il suo calorico di fusione, assorbisce, per fondersi, una quantità di calorico Mx; ma devesi anche notare che, in seguito alla fusione, esso si riscalda e che la sua temperatura s'innalza da 0° a θ gradi; onde assorbisce allora una quantità di calorico $M\theta$. Per ciò, si ha finalmente l'equazione

$$Mx + M\theta = m(t-\theta),$$

da cui si deduce il valore di x.

Con questo processo, evitando con ogni possibile diligenza tutte le cause d'errore, La Provostaye e Desains trovarono che il calorico di fusione del ghiaccio è 79; cioè, che un chilogrammo di ghiaccio, nel subire la fusione, rende latente la quantità di calorico che sarebbe necessaria per elevare 79 chilogrammi di acqua da 0° ad 1°, o, ciò che è lo stesso, 1 chilogrammo di acqua da zero a 79 gradi.

Person, il quale fece molte ricerche intorno al calorico latente delle varie sostanze, trovò per mezzo dell'esperienza i seguenti numeri esprimenti il calorico latente di alcuni corpi semplici e composti.

Acqua	79,25	Bismuto	12,64
Azotato di soda	62,97	Solfo	9,37
Zinco	28,13	Piombo	5,37
Argento	21,07	Fosforo	5,03
Stagno	14,25	Lega di Darcet	4,50
Cadmio	13,66	Mercurio	2,83

341. Misura del calorico latente di vaporizzazione. — Abbiamo accennato (305) che i liquidi, nel vaporizzarsi, rendono latente una quantità di calorico che si distingue col nome di calorico di elasticità o di calorico di vaporizzazione. Per determinare la quantità di calorico allora assorbita dall'unità di peso dei diversi liquidi, si ammette come evidente che un vapore, il quale passa allo stato liquido, rende libera una quantità di calorico precisamente eguale a quella che aveva assorbito nel convertirsi in vapore.

Ciò posto, il metodo che si adopera è lo stesso che venne già adottato per la determinazione dei calorici specifici dei gas relativamente a quello dell'acqua. La figura 231 rappresenta l'apparecchio adoperato in questo genere di ricerche. Il vapore si produce in una storta C ove la sua temperatura è indicata da un termometro; dalla storta passa in un serpentino SS immerso

nell'acqua fredda, e si condensa, cedendo al serpentino ed all'acqua del vase B, il proprio calorico latente. L'acqua risultante dalla condensazione si raccoglie in un vase A, ed il suo peso fa conoscere il peso del vapore che passò a traverso del serpentino. Finalmente, alcuni termometri introdotti nel vase B indicano l'innalzamento di temperatura dell'acqua.

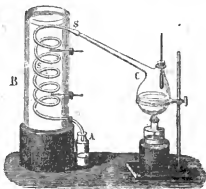
Ora si rappresenti con M il peso del vapore condensato, con T la sua temperatura, all'istante in cui entra nel serpentino, e con x il suo calorico di vaporizzazione. Si rappresenti del pari con m il peso dell'acqua nella quale è immerso il serpentino, aggiuntovi pur quello del vase B e del serpentino ridotti in acqua (332), con t la temperatura iniziale dell'acqua e con θ la sua temperatura quando termina l'esperimento.

Fig. 231.

Per conoscere la quantità del calorico ceduto dal vapore, osserviamo che al principio dell'esperimento l'acqua proveniente dalla condensazione esce a t gradi, mentre che alla fine esce a θ, e però si può ammettere che essa esca, per tutto il tempo in cui dura l'esperimento, ad una temperatura media fra t e θ, cioè ad una temperatura rappresentata da $\frac{t+\theta}{2}$. Quindi il peso M di vapore, nel condensarsi, cede una quantità di calorico eguale ad $M\left(T-\frac{t+\theta}{2}\right)$; ma, inoltre, nel liquefarsi, sviluppa una quantità di calorico rappresentata da Mx. D'altronde, il calorico assorbito dall'acqua fredda, dal serpentino e dal vase è $m(\theta-t)$. Per ciò si ha

$$Mx + M\left(T-\frac{t+\theta}{2}\right) = m(\theta - t).$$

Questa equazione fa conoscere x. Despretz ha trovato in questa maniera per il calorico di elasticità del vapore acqueo il numero 540; cioè, che un grammo di acqua a 100 gradi assorbisce, nel ridursi in vapore, la quantità di calorico necessaria per elevare 540 grammi d'acqua da zero ad 1 grado. Favre e Silbermann hanno trovato 535, 8.

342. Problemi sui calorici specifici e sui calorici latenti. — I. In un vase di vetro che pesa 12 grammi, e contiene 0^{lit}, 15 di acqua a 10 gradi,

si getta un pezzo di ferro il cui peso è 20 grammi e la temperatura 98 gradi; la temperatura dell'acqua si innalza allora ad 11,29 gradi; si domanda quale sia il calorico specifico del ferro, sapendo che quello del vetro è 0,19768.

Questo problema si risolve per mezzo della formola (3) del § 332, sostituendo alle lettere M, m, m' c', t e θ i numeri ad esse corrispondenti nell'enunciato precedente. Quanto al peso dell'acqua, siccome un litro di questo liquido pesa un chilogrammo, 0^{lit}, 15 pesano C^{chil},150, o, ciò che è lo stesso, 150 grammi astrazion fatta dalla dilatazione dell'acqua da 4 a 40 gradi.

Ciò posto, facendo le sostituzioni nella formola indicata, risulta

$$20\ (98 - 11{,}29)\ c = (150 + 22 \times 0{,}19768)\ (11{,}29 - 10),$$

d'onde $c = 0,\ 113$.

II. Una massa di platino del peso di 40 grammi è collocata in un fornello, e vi rimane un tempo sufficiente per acquistare la temperatura del medesimo. Essendo in seguito tolta dal fornello ed immersa in una massa d'acqua il cui peso è 84 grammi e la temperatura 12 gradi, si osserva che l'acqua viene riscaldata fino a 22 gradi: si domanda quale sia la temperatura del fornello, sapendo che il calorico specifico del platino è 0,03243.

Se si rappresenta con t la temperatura cercata, il numero delle unità di calorico cedute dal platino nel raffreddarsi da t gradi a 22, dietro la formola $m\ (t' - t)\ c$ del § 331, è $40 \times (t - 22) \times 0{,}03243$. Parimenti il numero delle unità di calorico assorbite dall'acqua, il cui calorico specifico è 1, per riscaldarsi da 12 a 22 gradi, è $84 \times (22 - 12)$, ossia 840. Ora, siccome la quantità di calorico assorbita dall'acqua è necessariamente eguale a quella che viene perduta dal platino, si ha $40\ (t - 22) \times 0{,}03243 = 840$, d'onde $t = 669$ gradi.

Bisogna notare però che questo valore di t è soltanto approssimativo, perchè il numero 0,03243 è il calorico specifico del platino fra zero e 100 gradi; ma si è veduto che ad una temperatura più elevata il calorico specifico dei solidi è maggiore (336), e quindi la temperatura trovata di 669 gradi è maggiore della effettiva temperatura del fornello.

III. Una massa di stagno del peso di 55 grammi e scaldata a 100 gradi viene chiusa in una cavità praticata in un pezzo di ghiaccio. Si domanda il peso del ghiaccio che verrà liquefatto, sapendo che il calorico specifico dello stagno è 0,05623 e che il calorico di fusione del ghiaccio è 79?

Siccome lo stagno si raffredda in questo caso da 100 gradi fino a zero, il numero di unità di calorico da esso perduto, giusta la formola del § 331, è $55 \times 100 \times 0{,}05623$. Ora, poichè un chilogrammo di ghiaccio, a zero, per fondersi assorbisce 79 unità di calorico (340), x chilogrammi di ghiaccio ne assorbiscono un numero di unità rappresentato da $79x$. Quindi si ha

$$79\ x = 55 \times 100 \times 0{,}05623,\ \text{d'onde}\ x = 3^{gr},9.$$

IV. Quanti chilogrammi di ghiaccio bisogna introdurre in 9 litri d'acqua per raffreddarla da 20 gradi a 5?

Si rappresenti con M il numero richiesto. Questi M chilogrammi di ghiac-

cio, per fondersi, assorbiranno un numero di unità di calorico rappresentato da 79M (340): ma il peso M di acqua che ne risulta, essendo a zero appena avvenuta la fusione, e dovendo riscaldarsi di 5 gradi, assorbisce una quantità di calorico 5M; quindi il calorico totale assorbito è $79M + 5M$, ossia 84M. Il calorico ceduto dai 9 litri d'acqua, nel raffreddarsi da 20 gradi a 5, è $9 \times (20 - 5)$, ossia 135; dunque si ha, finalmente, $84M = 135$, d'onde $M = 1^{chil},607$.

V. Qual è il peso di vapore d'acqua a 100 gradi che, nel condensarsi, scalda 208 litri d'acqua da 14 fino a 32 gradi?

Sia p questo peso espresso in chilogrammi: siccome il calorico latente del vapore d'acqua è 540 (341), p chilogrammi di vapore, condensandosi, cedono una quantità di calorico rappresentata da 540 p, e danno p chilogrammi d'acqua a 100 gradi. Ora, quest'acqua, nel raffreddarsi in seguito fino a 32 gradi, cede essa stessa una quantità di calorico eguale a $p\,(100 - 32)$, o 68 p. Del resto, siccome i 208 litri che si scaldano da 14 a 32 gradi pesano 208 chilogrammi, assorbiscono una quantità di calorico eguale a $208 \times (32 - 14)$, o 3744 unità; quindi si ha

$$540\,p + 68\,p = 3744, \text{ d'onde } p = 6^{chil},158.$$

VI. In un vase si ha dell'acqua ad 11 gradi, ed in un altro dell'acqua a 91 gradi: quanti litri si dovranno levare da ciascuno di essi per formare un bagno di 250 litri a 31 gradi?

Siano x ed y i numeri di litri che si devono levare rispettivamente da ciascun vase. Fra queste due quantità si avrà in primo luogo la relazione $x + y = 250$ (1). Per ottenere una seconda equazione in x ed y, si osservi che y litri d'acqua, raffreddandosi da 91 gradi a 31, emettono una quantità di calorico espressa da $(91 - 31)\,y = 60y$. Ora, questa quantità di calorico è eguale a quella assorbita dagli x litri che si scaldano da 11 gradi a 31, la quale è espressa da $x(31 - 11)$ cioè da $20x$; dunque si ha l'equazione $60y = 20x$, ossia $x = 3y$ (2).

Risolte le equazioni (1) e (2), si trova $x = 187^{lit},5$ ed $y = 62^{lit},5$.

TEORIA DINAMICA DEL CALORICO.

343. Equivalente meccanico del calorico. — Partendo dall'idea che lo svolgimento di calore è dovuto ad un moto vibratorio delle molecole sottoposte alle ordinarie leggi della meccanica, parecchi geometri e fisici lavorano da alcuni anni per isviluppare una teoria nuova, che indicano col nome di *Teoria meccanica del calorico*, e colla quale si propongono non solo di dimostrare che una data quantità di calorico può essere trasformata in un lavoro meccanico (386) e reciprocamente, ma anche di calcolare il lavoro meccanico che può essere prodotto da una determinata quantità di calorico, ovvero la quantità di calorico che può essere isviluppata da un dato lavoro meccanico. È noto, infatti, che il calorico può produrre un lavoro meccanico, come accade allorchè si adopera l'espansione dei vapori e la dilatazione dei gas; e che, reciprocamente, si può svolgere del calore per mezzo di una

azione meccanica, come la percussione, la pressione e lo atrofinamento (388 e 389). La teoria dinamica del calorico è uno degli studii a cui attualmente si volgono molti, e merita l'attenzione dei fisici e dei meccanici perchè se ne possono attendere dei miglioramenti di massima importanza per le macchine a vapore e per quelle ad aria calda.

Sembra che Mongolfier sia stato il primo tra i fisici che asserisse la identità di natura tra il calorico ed il moto, non solo perciò che il calorico è una causa di moto, e il moto una causa di calorico, ma anche nel senso che il calorico ed il moto sono due manifestazioni differenti, due diversi effetti di una causa unica; nel senso, insomma, che il calorico può convertirsi in moto, ed il moto in calorico.

Fondandosi sopra queste considerazioni teoriche, Mongolfier inventò, nel 1800, una macchina, ch'egli chiamò *piro-ariete*, per mezzo della quale egli opinava che il lavoro giornaliero di un cavallo-vapore (386) dovesse costare soltanto pochi centesimi. Il principio di questo istrumento consisteva nel dilatare col riscaldamento una certa quantità d'aria che rimaneva sempre in un vase chiuso; nel far servire l'aumento di volume e di elasticità per sollevare una colonna d'acqua, e nel restituire di poi a questa stessa massa di aria il calorico ch'essa, dilatandosi, aveva perduto e *convertito in effetto meccanico*, nel renderle di nuovo la forza elastica, e così di seguito.

Nel 1824, S. Carnot pubblicava un'opera intitolata: *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*, nella quale si trovano importantissime idee sul modo di produrre il moto col calore. Da quel tempo in poi la teoria dinamica del calorico fu soggetto dei lavori di parecchi dotti, e particolarmente di Joule, Thomson e Rankins in Inghilterra, di Meyer e Clausius in Germania, e di E. Clapeyron, Reech e Regnault in Francia.

Carnot ammetteva che, in una macchina a vapore, il lavoro meccanico prodotto è unicamente dovuto al *passaggio* del calorico, nella macchina, dalla caldaja al condensatore (375); poichè la quantità di calorico posseduta dal vapore al suo ingresso nei cilindri trovasi ancora per intiero nel vapore mentre esce. Nella nuova teoria la quantità di calorico che entra nella macchina non si conserverebbe tutta allo stato di calorico, ma una porzione perderebbe nel passaggio la sua primitiva forza *convertendosi* in effetto meccanico, ed in ogni caso il lavoro meccanico prodotto sarebbe proporzionale alla quantità di calorico che è scomparsa.

Secondo questa teoria, Joule ha denominato *equivalente meccanico del calorico* la quantità di lavoro che può produrre ogni unità di calorico (329), ovvero, ciò che torna lo stesso, la quantità di lavoro meccanico necessario per isviluppare una caloria. Per mezzo di molti esperimenti Joule ha trovato che l'equivalente meccanico del calorico è espresso da 440 chilogrammetri (386); cioè che la quantità di calorico necessaria per scaldare di un grado un chilogrammo d'acqua può dare una quantità di lavoro espressa da 440 chilogrammi elevati all'altezza di un metro.

Non potendo qui descrivere le esperienze di Joule, rimandiamo il lettore agli *Archivii delle scienze fisiche* e *naturali di Ginevra* (maggio 1854 pagina 37).

Trattando delle correnti di induzione, daremo due importanti esempi di effetti meccanici trasformati in calore in un esperimento di induzione dovuto a Foucault e nei nuovi apparati elettro-magnetici destinati alla illuminazione dei fari, dove la forza di un cavallo-vapore dà origine ad una brillante illuminazione elettrica.

CAPITOLO VIII.

CONDUTTIVITA' DEI SOLIDI, DEI LIQUIDI E DEI GAS.

344. **Conduttività dei solidi.** — La *conduttività* è la proprietà che possedono i corpi di trasmettere più o meno facilmente il calorico nell'interno della loro massa. Si ammette che questo modo di propagazione si effettui per un irradiamento interno da molecola a molecola. Siccome i corpi non conducono tutti egualmente il calorico, si chiamano *buoni conduttori* quelli che lo trasmettono facilmente, come sarebbero in ispecial modo i metalli; e si chiamano *cattivi conduttori* quelli che offrono una resistenza più o meno considerabile alla propagazione del calorico, come sono il vetro, le resine, i legni, e principalmente i liquidi ed i gas.

Per paragonare le facoltà conduttive dei solidi, Inghenhousz, medico olandese, morto alla fine del secolo passato, costrusse il piccolo apparecchio che porta il suo nome e che trovasi rappresentato dalla figura 232. È una cassa di latta a cui sono fissate per mezzo di tubulature e turaccioli delle verghe di diverse sostanze, per esempio di ferro, di rame, di legno, di vetro. Queste verghe penetrano alquanto nell' interno della cassa e sono coperte di cera gialla, la quale si fonde a 61.º Riempita la cassa di acqua bollente, si osserva che sopra alcune verghe la cera si fonde presto sino ad una distanza più o meno grande, mentre sopra altre non si scorge verun indizio di fusione. Pertanto si conchiude che la facoltà conduttrice è tanto maggiore quanto più estesa è la parte della verga sulla quale la cera è stata fusa.

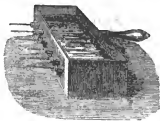



Fig. 232. ($l = 12$).

Despretz misurò le facoltà conduttrici dei solidi coll'apparecchio rappresentantato dalla figura 233. È una spranga prismatica in cui sono praticate di decimetro in decimetro

delle piccole cavità piene di mercurio, in ciascuna delle quali è immerso un termometro. Esposta questa spranga con uno de' suoi capi ad una sorgente di calorico costante,

Fig. 233 ($l = 20$).

si vede che le colonne termometriche ascendono successivamente partendo dalla sorgente, poi si fermano a temperature fisse ma decrescenti da un termometro al seguente. Con questo processo Despretz verificò la legge enunciata per la prima volta da Lambert di Berlino; *quando le distanze dalla sorgente crescono in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura sull'aria ambiente decrescono in progressione geometrica.*

Questa legge però non si verifica che pei metalli ottimi conduttori, come l'oro, il platino, l'argento, il rame; essa è soltanto approssimativa pel ferro, lo zinco, il piombo, lo stagno, e non può applicarsi ai corpi non metallici, come il marmo, la porcellana, ecc.

Rappresentando con 1000 la facoltà conduttrice dell'oro, Despretz trovò che quella delle sostanze seguenti è

Platino	981	Stagno	304
Argento	973	Piombo	179
Rame	987	Marmo	23
Ferro	374	Porcellana	12
Zinco	363	Terra da mattoni	11

Widemann e Franz pubblicarono nel 1853, negli Annali di Poggendorf, il risultato di lunghe ricerche sulla conduttività dei metalli pel calorico. Per non alterare la forma delle spranghe metalliche col praticarvi delle cavità, come aveva fatto Despretz, togliendo così in parte la continuità del metallo, questi fisici adoperarono un processo esente da siffatta causa di errore. Essi misurarono la temperatura delle spranghe, nelle loro differenti parti, per mezzo delle correnti elettriche ottenute, coll'aver applicato sopra

queste parti le saldature di una (coppia della pila termo-elettrica di Melloni (libro X, cap. VIII)

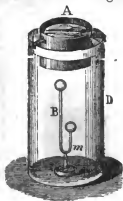
Le spranghe metalliche avevano la maggior possibile regolarità, ed erano collocate in un ambiente di temperatura costante: uno dei capi di ciascuna spranga era in comunicazione con una sorgente di calore, e la coppia termo-elettrica, che doveva essere posta in contatto colla spranga, era di dimensioni assai piccole per sottrarre una minima quantità di calorico.

Operando così, Wiedmann e Franz ottennero risultati alquanto diversi da quelli di Despretz. Rappresentando con 100 la conduttività dell'argento, essi trovarono per gli altri metalli i numeri seguenti.

Argento	100	Acciajo	11,6
Rame	73,6	Piombo	8,5
Oro	53,2	Platino	8,4
Stagno	14,5	Lega di Rose	2,8
Ferro	11,9	Bismuto	1,8

Le sostanze organiche conducono male il calorico; Delarive di Ginevra dimostrò che la conduttività dei legni è molto maggiore nel verso delle fibre che trasversalmente, e che i legni più compatti sono quelli che conducono meglio il calorico. La crusca, la paglia, la lana, il cotone, che sono corpi poco densi, e formati, per così dire, di parti discontinue, sono assai cattivi conduttori.

Fig. 234.

345. Conduttività dei liquidi. — La conduttività dei liquidi è debolissima, come si può riconoscere col seguente esperimento. Si colloca entro un vase cilindrico di vetro D (fig. 234) un piccolo termoscopio B; indi, empito il vase di acqua alla temperatura ordinaria, si immerge in parte, entro questo liquido un vase di latta A contenente acqua bollente od olio scaldato a 200° o 300°. Allora si osserva che il bulbo inferiore del termoscopio si scalda pochissimo, come mostra il moto dell'indice *m*. Altri liquidi danno il medesimo risultato (*).

(*) Un altro esperimento, il quale prova ad evidenza che la conduttività dei liquidi è assai debole venne registrato dall'autore nelle due prime edizioni, e stimiamo opportuno di ricordarlo in questa nota.

« Collocato un pezzetto di ghiaccio al fondo d'un tubo di vetro pieno d'acqua, e disposto il tubo come indica la figura (234 *bis*), si fa bollire l'acqua scaldandola alla sua parte superiore colla fiamma d'una lampada ad alcoole, e si osserva allora che mentre la colonna liquida è a 100° ad uno de' suoi capi, all'altro il ghiaccio entra appena in fusione. *(Nota dei Trad.)*

Sperimentando con un apparato analogo al precedente, e disponendo in tutta l'altezza del vase D una serie di termometri, gli uni al di sotto degli altri, Despretz trovò che il calorico si propaga nei liquidi colla stessa legge che nelle sbarre metalliche, ma la conduttività è incomparabilmente minore.

346. **Modo di riscaldamento dei liquidi.** — Quando si scaldano i liquidi, applicando il calore alla parte inferiore del recipente che li contiene, il loro riscaldamento, attesa la poca conduttività di questi corpi, è prodotto per la massima parte dalle correnti ascendenti e discendenti che si stabiliscono nella loro massa. Tali correnti provengono dalla dilatazione degli strati inferiori, i quali, diventando

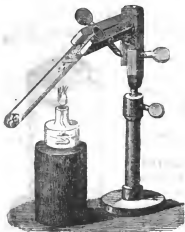



Fig. 234 *bis.*

Fig. 235. ($a = 34$)

meno densi, si elevano nel liquido, cedendo il luogo agli strati superiori più freddi e, per conseguenza, più densi. Si rendono visibili queste correnti gettando nell'acqua della segatura di legno, che sale e discende con esse. L'esperimento si dispone come mostra la figura 235.

347. **Conduttività dei gas.** — Non si può valutare direttamente la facoltà conduttrice dei gas a motivo della grande diatermasia di queste sostanze e della somma mobilità delle loro molecole; ma quando ne siano inceppati i movimenti, la conduttività si mostra pressochè nulla. Infatti, si osserva che tutte le sostanze filamentose, tra le quali è imprigionata dell'aria, offrono una grande resistenza alla propagazione del calorico: tali sono, la paglia, la lanugine, le pelliccie. Il riscaldamento delle masse

gasose avviene principalmente pel contatto con un corpo caldo e per le correnti ascendenti prodotte dalla dilatazione, come nei liquidi.

348. **Conduttività dell' idrogeno**. — Magnus, a Berlino, indagò recentemente la conduttività propria di ciascun gas, per mezzo di un tubo di vetro chiuso da una chiavetta e disposto verticalmente. Alla parte inferiore del tubo, nell' interno, eravi un termometro che si osservava traverso il vetro, mentre l' estremità superiore veniva conservata a 100 gradi. Esperimentando con questo tubo prima vuoto indi pieno successivamente di diversi gas più o meno condensati, Magnus ottenne i seguenti risultati:

1.° La temperatura del termometro si innalza di più nell' idrogeno che in tutti gli altri gas.

2.° È più elevata nell' idrogeno che nel vuoto e tanto più quanto questo gas è più condensato.

3.° Negli altri gas la temperatura è meno elevata che nel vuoto, e tanto meno quanto i gas sono più condensati.

La conduttività dell' idrogeno per il calore sarebbe una conferma dell' opinione emessa da parecchi chimici che questo gas sia un metallo.

349. **Applicazioni della conduttività**. — La conduttività diversa dei corpi si presta a numerose applicazioni e dà la spiegazione di parecchi fenomeni. Quando, per esempio, si vuol conservare caldo un liquido per molto tempo, lo si chiude in un vase a doppia parete e si riempie lo spazio interposto di sostanze non conduttrici, come segatura di legno, vetro, carbone triturato, paglia. Lo stesso mezzo si adopera per impedire che un corpo assorbisca calorico: così, per conservare il ghiaccio nella stagione calda, si suole avvolgerlo nella paglia o in una coperta di lana.

Nelle nostre abitazioni il pavimento di mattoni ci sembra più freddo del tavolato, perchè conduce meglio il calorico. La sensazione di caldo o di freddo che proviamo al contatto dei corpi buoni conduttori è pure dovuta alla loro conduttività. Quando la loro temperatura è meno elevata di quella del nostro corpo ci sembrano più freddi che non siano effettivamente, perchè in causa della loro conduttività ci sottraggono rapidamente del calorico; il marmo ci offre questo fenomeno. Invece, se la loro temperatura è superiore a quella del nostro corpo, sembrano più caldi, perchè ci trasmettono rapidamente il calorico da diversi punti della loro massa; tale è il fenomeno che ci presenta una sbarra di ferro, la quale sia stata esposta al sole.

CAPITOLO IX.

IRRADIAZIONE DEL CALORICO.

350. **Propagazione del calorico in un mezzo omogeneo.** — La temperatura di un corpo collocato in un ambiente più caldo o più freddo si innalza o si abbassa progressivamente sino a raggiungere quella dell'ambiente; d'onde si conchiude che il corpo ha guadagnato ovvero perduto una certa quantità di calorico, ricevendola dai corpi vicini, ovvero cedendola ai medesimi. Adunque il calorico si trasmette da un corpo ad un altro attraverso allo spazio, alla stessa guisa della luce. Il calorico che si propaga così a distanza si denomina *calorico raggiante*, e chiamasi *raggio di calorico* o *raggio calorifico* la linea retta che esso percorre mentre si propaga.

Il calorico si trasmette anche per entro alla massa dei corpi; allora si produce una vera irradiazione interna da melecola a melecola, il quale fenomeno è già stato esposto all'articolo *conduttività* (344).

351. **Leggi dell'irradiazione.** — L'irradiazione del calorico è soggetta alle seguenti leggi:

1.ª *L'irradiazione avviene in tutte le direzioni attorno ai corpi.* Infatti, se si colloca un termometro in differenti posizioni attorno ad un corpo caldo, esso indica sempre un innalzamento di temperatura.

2.ª *In un mezzo omogeneo l'irradiazione si effettua in linea retta.* Difatti, se si interpone un diaframma in linea retta tra una sorgente calorifica ed un termometro, quest'ultimo cessa di sentire l'influenza della sorgente.

Ma quando passano da un mezzo all'altro, per esempio, dall'aria nel vetro, i raggi calorifici, al pari dei luminosi, sono generalmente deviati; il qual fenomeno si chiama *rifrazione*, ed è soggetto alle stesse leggi che esporremo parlando della luce.

3.ª *Il calorico raggiante si propaga nel vuoto come nell'aria.* Ciò si dimostra ponendo un piccolo termometro entro un globo di vetro saldato ad un tubo barometrico (fig. 236). Mentre il globo di vetro è perfettamente vuoto, se avvicinasi ad esso un corpo caldo, si vede elevarsi la colonna termometrica; il qual fenomeno non può attribuirsi che all'irradiazione nel vuoto, poichè, come abbiamo veduto (344), il vetro non conduce abbastanza il calorico acciò la propagazione possa effettuarsi per mezzo delle pareti del globo e dell'asta del termometro.

La velocità di propagazione del calorico non è stata determinata; si sa soltanto che essa deve differire poco da quella della luce, se pure non le è assolutamente eguale, perchè la luce solare e la maggior parte delle luci artificiali sono costantemente accompagnate da raggi calorifici.

352. **Cause che fanno variare l'intensità del calorico raggiante.** — L' *intensità del calorico*, ossia la quantità di calorico ricevuta sull' unità di superficie, può essere modificata da tre cause: cioè, dalla temperatura della sorgente di calore, dalla sua distanza e dall'obliquità dei raggi calorifici rispetto alla superficie che li emette. Queste modificazioni sono espresse nelle seguenti leggi:

1.ª *L' intensità del calorico raggiante è proporzionale alla temperatura della sorgente;*

2.ª *Questa intensità è in ragione inversa del quadrato della distanza;*

3.ª *L' intensità dei raggi calorifici è tanto minore quanto più obliqua è la direzione dell' emissione rispetto alla superficie irradiante.*

Fig. 236.

La prima legge si verifica presentando uno dei bulbi del termometro differenziale (244) a sorgenti diverse di calore, per esempio, ad un cubo di latta riempito successivamente d'acqua a 30°, a 20°, a 10°. Allora si osserva che, a pari distanza, il termometro indica temperature che sono tra loro nello stesso rapporto di quelle delle sorgenti; cioè, nell'esempio addotto, come 6, 4, 2 (354, 2.ª).

Per constatare sperimentalmente la seconda legge, si colloca il termometro differenziale ad una determinata distanza da una sorgente di calore costante, poi lo si trasferisce ad una distanza doppia, e si osserva che il termometro, in questa seconda posizione, indica una temperatura quattro volte minore della prima. Ad una distanza tripla esso segna una temperatura nove volte minore.

Questa seconda legge si dimostra anche fondandosi sul teorema di geometria, che la superficie di una sfera cresce come il quadrato del suo raggio. Infatti, se si immagina una sfera cava *ab* (fig. 237) di raggio qualunque, al cen-

tro della quale esista una sorgente costante di calore C, si concepisce che ogni unità di superfice della sua parete interna riceve una certa quantità di calorico. Ora, se si considera una sfera *ef* di raggio doppio, la sua superficie,

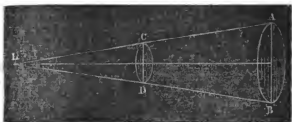



Fig. 237.

giusta il teorema citato, sarà quadrupla di quella della prima, quindi la parete interna conterrà il quadruplo di unità superficiali, e siccome la quantità di calorico emessa dal centro rimane la stessa, ciascuna di queste unità ne riceverà necessariamente la quarta parte.

Per dimostrare la terza legge, si colloca davanti ad uno

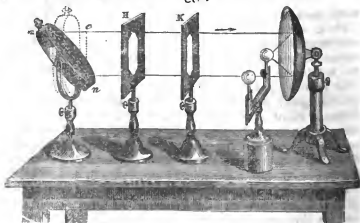



Fig 238.

specchio concavo una cassa cilindrica di latta *mn* (fig. 238), assai sottile, la quale può essere inclinata più o meno, ruotando sopra un perno orizzontale. La superficie anteriore di questa cassa è coperta di nero di fumo, ed al suo lembo superiore trovasi una tubulatura, che serve per empirla di acqua calda. Finalmente, tra la cassa e lo specchio si trovano due diaframmi H e K con aperture cir-

colari eguali, i quali lasciano passare un fascio di raggi paralleli che vanno ad incontrare lo specchio.

Collocato un termometro differenziale nel fuoco dello specchio, si dispone la cassa piena d'acqua calda nella posizione verticale, rappresentata in linee punteggiate, ed ivi si lascia fino a che il termometro cessi d'indicare un aumento di temperatura; indi si inclina la cassa come è rappresentata da *mn* e si aspetta di nuovo che il termometro divenga stazionario. Ora si osserva che, in ambedue i casi, il termometro indica la stessa temperatura; il che dimostra la legge enunciata. Infatti, nel primo caso, la parte di superficie della cassa che manda raggi verso lo specchio è un circolo di diametro *ac*, eguale all'apertura dei diaframmi; nel secondo la superficie irradiante verso lo specchio è una elisse il cui asse maggiore è *ab* ed il minore *ac*, cioè il diametro delle aperture dei diaframmi: in questo secondo caso adunque essa è maggiore che nel primo. Ora l'effetto prodotto sul termometro è nei due casi lo stesso; dunque allorchè i raggi sono obliqui rispetto alla superficie irradiante, la loro intensità è minore che nel caso in cui siano perpendicolari alla superficie medesima.

Per tradurre in simboli algebrici la legge precedente, si chiami i l'intensità dei raggi perpendicolari alla superficie ed i' quella dei raggi obliqui. Essendo queste intensità necessariamente in ragione inversa delle superficie *ab* ed *ac* (poichè l'effetto è lo stesso in ambedue i casi), si avrà $i' \times$ superf. $ab = i \times$ superf. ac. Ora, la superficie *ac* è la projezione di *ab*, e perciò, giusta un noto teorema di trigonometria,

$$\text{superf. } ac = \text{superf. } ab \cos. bac.$$

Ponendo questo valore nella equazione precedente e sopprimendo il fattore comune ai due membri, si ha $i' = i \cos. bac$, d'onde si conchiude che *l'intensità dei raggi obbliqui è proporzionale al coseno dell'angolo che la loro direzione fa colla normale alla superficie irradiante;* perchè torna facile il conoscere che quest'angolo è eguale all'angolo *bac*. Questa legge, conosciuta sotto il nome di legge del *coseno*, non è generale; difatti, Desains e de La Provostaye constatarono che si verifica soltanto allorchè i corpi, come il nero di fumo, sono privi di facoltà riflettente (360).

353. **Equilibrio mobile di temperatura.** — Due ipotesi si sono fatte sull'irradiazione. Nelle prima si suppone che quando due corpi a differenti temperature sono in presenza l'uno dell'altro, accade irradiazione soltanto dal corpo più caldo verso il meno caldo, il quale non emette calorico verso il primo, e ciò fino a tanto che la

temperatura del corpo più caldo si abbassi gradatamente sino a divenire eguale a quella dell'altro corpo; allora cessa ogni irradiazione. A quest'ipotesi si è surrogata la seguente, dovuta a Prévost di Ginevra, la quale è la sola ammessa oggidì. Secondo questo scienziato, tutti i corpi, qualunque sia la loro temperatura, emettono costantemente del calorico in tutte le direzioni, quindi si raffreddano quelli la cui temperatura è più alta, perchè i raggi che essi emettono hanno intensità maggiore di quelli che ricevono. Al contrario guadagnano calorico, cioè si riscaldano, quelli la cui temperatura è più bassa. Giunge poi un istante in cui la temperatura è la stessa per gli uni e per gli altri; ma i corpi si scambiano ancora tra loro del calorico, in modo però che ciascuno ne riceve quanto ne emette; onde la temperatura rimane costante. Questo stato particolare si indica col nome di *equilibrio mobile di temperatura.*

354. **Legge di Newton sul raffreddamento.** — Un corpo collocato in un ambiente vuoto si raffredda o si riscalda soltanto per irradiazione; quando si trovi direttamente immerso nell'atmosfera, si raffredda o si riscalda per irradiazione e pel suo contatto coll'aria. In ambedue i casi la velocità del raffreddamento o del riscaldamento, cioè *la quantità di calorico perduta od assorbita in un secondo* è tanto maggiore quanto più grande è la differenza di temperatura.

Newton stabilì pel raffreddamento e pel riscaldamento dei corpi la legge seguente: *la quantità di calorico che un corpo perde o guadagna in un minuto secondo è proporzionale alla differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente.* Dulong e Petit hanno mostrato che questa legge non è così generale come aveva supposto Newton, e che si può applicarla soltanto a differenze di temperatura che non oltrepassano 15 o 20 gradi. Oltre questo limite, la quantità di calorico perduta od assorbita è maggiore di quella indicata dalla suddetta legge.

Dalla legge di Newton si deducono queste due conseguenze:

1.ª Quando un corpo è esposto ad una sorgente costante di calore, le sua temperatura non può innalzarsi indefinitamente, perchè la quantità di calorico che esso riceve, in tempi eguali, è sempre la stessa, mentre quella che perde cresce al crescere dell'eccesso della sua temperatura su quella dell'aria ambiente. Giunge dunque un momento

in cui la quantità di calorico emessa eguaglia quella assorbita, ed allora la temperatura rimane stazionaria.

2.ª La legge di Newton, applicata al termometro differenziale, mostra che le indicazioni di questo strumento sono proporzionali alla quantità di calorico ch'esso riceve. Infatti, suppongasi che uno dei bulbi d'un termetro differenziale riceva i raggi emessi da una sorgente costante: lo strumento indica sulle prime un aumento successivo di temperatura, poi diviene stazionario, come mostra la posizione fissa che prende l'indice; allora il bulbo riceve una quantità di calorico eguale a quella che emette. Ma quest'ultima, dietro la legge di Newton, è proporzionale all'eccesso della temperatura del bulbo su quella dell'ambiente, cioè al numero di gradi segnati dal termometro. Dunque *la temperatura indicata da un termometro differenziale è proporzionale alla quantità di calorico ch' esso riceve.*

RIFLESSIONE, EMISSIONE ED ASSORBIMENTO DEL CALORICO.

355. **Leggi della riflessione.** — Quando i raggi calorifici cadono sulla superficie di un corpo, si dividono generalmente in due parti; alcuni penetrano nella massa del corpo, altri rimbalzano, quasi respinti dalla superficie medesima, come avviene di una palla elastica, il che si esprime dicendo che sono *riflessi.*

Se si rappresenta con *mn* (fig. 239) una superficie riflettente piana, con AB il *raggio incidente*, con BD la retta perpendicolare alla superficie nel punto B, che dicesi *normale*, con BC il *raggio riflesso;* l'angolo ABD chiamasi l' *angolo di incidenza*, e CBD l'*angolo di riflessione*. Ciò posto, la riflessione del calorico, come quella della luce, è sottoposta alla due leggi seguenti:

Fig. 239.

1.ª *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo di incidenza.*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Queste due leggi si dimostrano col mezzo degli specchi concavi (357).

356. **Riflessione sugli specchi concavi.** — Si

chiamano *specchi concavi* o *riflettori*, le superficie sferiche o paraboliche di metallo o di vetro che servono a concentrare in un punto dei raggi luminosi o calorifici.

Noi considereremo soltanto gli specchi sferici. La figura 241 mostra due di questi specchi, e la figura 240 ne presenta una sezione meridiana. Il centro C della sfera, alla superficie della quale lo specchio appartiene, si

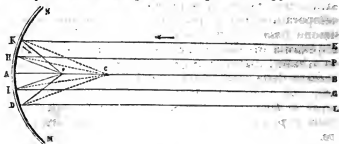



Fig. 240.

chiama *centro di curvatura;* A, punto di mezzo del riflettore, dicesi *centro di figura;* finalmente, la retta AB, passante per questi due punti, è l'*asse principale* dello specchio.

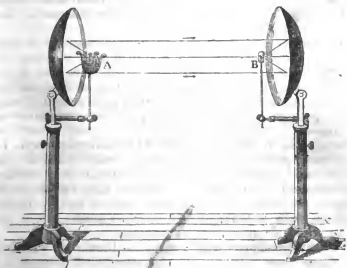
Per applicare agli specchi sferici le leggi della riflessione sulle superficie piane, si considerano questi specchi come formati da un infinito numero di superficie piane infinitamente piccole; nella quale ipotesi si può dimostrare colla geometria che le normali a queste piccole superficie vanno tutte a concorrere nel centro di curvatura.

Ciò posto, suppongasi collocata sull'asse AB dello specchio MN una sorgente calorifica abbastanza lontana perchè i raggi EK, PH . . . da essi emanati si possano considerare come paralleli tra loro. Dietro l'ipotesi premessa, che lo specchio sia formato da un infinito numero di piccoli elementi piani, il raggio EK si riflette sull'elemento K precisamente come sopra uno specchio piano; cioè, essendo CK la normale a questo elemento, il raggio prende una direzione KF tale che l'angolo CKF è eguale all'angolo CKE. Siccome gli altri raggi PH, GI . . . si riflettono nella stessa guisa, così tutti questi raggi, dopo la loro riflessione, concorrono sensibilmente in un punto F che è il punto di mezzo della AC, come si dimostrerà in ottica. Adunque in F accade una concentrazione di raggi calorifici, e, per conseguenza, un innalzamento di tempe-

ratura maggiore che in ogni altro punto. Quindi quel punto ebbe il nome di *fuoco*. La distanza FA dal fuoco allo specchio si chiama la *distanza focale*.

Nella figura 240 si suppone che il calorico si propaghi secondo le linee EKF, LDF . . . . nella direzione delle frecce: ma se il corpo caldo fosse collocato in F, il calorico si propagherebbe inversamente secondo le linee FKE, FDL...., di maniera che i raggi emessi dal fuoco diventerebbero, dopo la riflessione, paralleli tra loro, e perciò il calore trasmesso in tal caso tende a conservare costante la sua intensità.

357. **Dimostrazione delle leggi della riflessione.** — L'esperimento seguente, fatto quasi contemporaneamente da Schéele, in Isvezia, e da Pictete Sausurre a Gi-

Fig. 241 (½a = 150).

nevra, dimostra l'esistenza dei fuochi, ed in pari tempo le leggi della riflessione del calorico. Si dispongono due riflettori alla distanza di 4 o 5 metri l'uno dall'altro (fig. 241), in modo che i loro assi coincidano. Al fuoco dell'uno, in un piccolo cestello di filo di ferro A, si collocano dei carboni accesi; al fuoco dell'altro si pone un corpo accensibile B, per esempio, dell'esca. I raggi emessi dalla sorgente A si riflettono una prima volta sullo specchio al cui fuoco trovasi la sorgente, e, per effetto di questa riflessione, avendo presa una direzione parallela all'asse (356), si riflettono una seconda volta sull'altro specchio e

concorrono nel suo fuoco B. Di fatti, il pezzo d'esca ivi collocato si accende, mentre non s'accende se trovasi al di qua o al di là del fuoco.

Con questo apparato si può anche dimostrare che il calorico e la luce si riflettono secondo le stesse leggi. A questo intento si colloca al fuoco A una candela accesa, ed al fuoco B un diaframma di vetro smerigliato, e si osserva su quest'ultimo un fuoco luminoso precisamente dove si era accesa l'esca. Adunque il fuoco luminoso ed il fuoco calorifico si formano allo stesso punto; d'onde si deduce che la riflessione avviene secondo le stesse leggi in ambedue i casi. Ora si dimostrerà più innanzi (415) che per la luce l'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza, e che il raggio incidente ed il riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente; dunque *altrettanto avviene pel calorico.*

Gli specchi concavi, a motivo della elevazione di temperatura che si può ottenere ai loro fuochi, vennero distinti col nome di *specchi ustorii.* Si racconta che Archimede incendiò i vascelli romani dinanzi a Siracusa col mezzo di tali specchi. Buffon costrusse degli specchi ustorii la cui potenza prova la possibilità del fatto attribuito ad Archimede; essi erano formati da un gran numero di specchi piani di cristallo, lunghi 22 centimetri e larghi 16, e potevano essere mossi indipendentemente l'uno dall'altro in varie direzioni in modo che tutti i raggi riflessi concorressero in un medesimo punto. Con 128 di questi specchi, per mezzo di un cocente sole d'estate, Buffon produsse, alla distanza di [illegible]8 metri, l'ascensione d'una tavola di legno intonacata di catrame.

358. **Riflessione nel vuoto**. — Il calorico si riflette nel vuoto come nell'aria. Per dimostrarlo, si istituisce la seguente esperienza, dovuta all'inglese Davy. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si dispongono due piccoli specchi concavi l'uno di fronte all'altro. Al fuoco dell'uno trovasi un termometro assai sensibile, ed al fuoco dell'altro una sorgente elettrica di calore che consiste in un filo di platino reso incandescente col farlo attraversare dalla corrente di una pila. Si vede il termometro ascendere tosto di parecchi gradi, il qual fenomeno è dovuto al calorico riflesso, perchè il termometro non indica più innalzamento di temperatura quando non trovasi esattamente al fuoco del secondo specchio.

359. **Apparente riflessione del freddo**. — Se si

pongono due specchi concavi l'uno di fronte all'altro come rappresenta la figura 241, ed in luogo di carboni ardenti si colloca al fuoco di uno di essi un pezzo di ghiaccio, mentre l'aria ambiente è, per esempio, a 12° o 15°, si osserva che un termometro differenziale posto al fuoco del secondo specchio indica un raffreddamento di parecchi gradi. Questo fenomeno sembra a primo aspetto prodotto da raggi frigoriferi emessi dal ghiaccio. Ma questa così detta *riflessione apparente* del freddo si spiega dietro quanto abbiamo esposto (353) sull'equilibrio di temperatura, che tende sempre a stabilirsi tra i corpi. V'è ancora scambio di calorico come nell'esperimento in cui s'accende l'esca, ma sono inversi gli uffici, perchè in questo caso il corpo caldo è il termometro. Siccome i raggi emessi dal termometro sono più intensi di quelli che emette il ghiaccio, così non v'è compensazione tra il calorico che il termometro cede e quello che riceve, epperò esso si raffredda.

A questa stessa causa bisogna riferire il freddo che noi sentiamo talvolta presso ad un muro di mattoni o di pietra, ed in generale presso ad ogni corpo la cui temperatura sia inferiore a quella del nostro.

360. **Potere riflettente**. — Si chiama *potere riflettente* la proprietà che hanno i corpi di riflettere una parte più o men grande del calorico incidente.

Il potere riflettente varia da una sostanza all'altra. Per istudiare questo potere sopra varie sostanze, senza aver bisogno di costruire con esse altrettanti specchi, Leslie dispose le sue esperienze come mostra la figura 242. La sorgente di calore è un cubo M pieno d'acqua a 100°. Sull'asse d'uno specchio sferico, tra il fuoco e lo specchio, trovasi fissata una piastra A della sostanza di cui si cerca il potere riflettente. Per questa disposizione, i raggi emessi dalla sorgente e riflessi una prima volta sullo specchio, incontrano la piastra A, vi si riflettono di nuovo e formano il loro fuoco tra la piastra e lo specchio in un punto in cui si colloca il bulbo di un termoscopio. Ora, lo specchio ed il termoscopio restando sempre gli stessi, e l'acqua del cubo trovandosi sempre a 100°, si osserva che la temperatura indicata dal termoscopio varia colla natura della piastra A soggetta all'esperimento; d'onde si deduce non già il potere riflettente assoluto di un corpo, ma il rapporto di questo potere a quello di un altro corpo, preso per termine di confronto. Infatti, di conformità a quanto si è detto (354, 2.ª) sull'applicazione della legge di Newton

al termometro differenziale, le temperature indicate da questo strumento sono proporzionali alle quantità di calorico ch'esso riceve. Per conseguenza, se, per esempio, una piastra di vetro ed una di piombo fanno avanzare il termometro differenziale l'una di 1 grado, l'altro di 6, si deve inferirne che la quantità di calorico riflessa dal piombo è 6 volte quella riflessa dal vetro, perchè, la quantità di

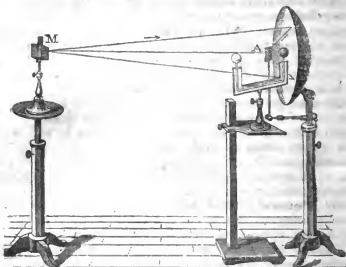



Fig. 242. ($a = 150$)

calorico emessa dalla sorgente essendo la medesima, lo specchio concavo ne riflette la stessa porzione, e la differenza non può provenire che dal potere riflettente della piastra A.

Mediante questo processo, rappresentando con 100 il potere riflettente dell'ottone, preso per termine di confronto, Leslie formò la seguente tavola dei poteri riflettenti relativi:

Ottone levigato	100	Inchiostro della China	13
Argento	90	Stagno amalgamato	10
Stagno	80	Vetro	10
Accia o	70	Vetro coperto d'olio	5
Piombo	60	Nero di fumo	0

Questi numeri rappresentano soltanto il *potere riflettente relativo* di varie sostanze rispetto all'ottone, cioè il rapporto tra la quantità di calorico che riflettono queste so-

stanze e quelle che, nelle stesse circostanze, riflette l'ottone. Il loro *potere riflettente assoluto* sarebbe il *rapporto tra la quantità di calorico riflessa e quella ricevuta*. Melloni, pel primo, determinò il potere riflettente assoluto di un certo numero di sostanze. Desains e La Provostaye che fecero a questo scopo delle indagini sui metalli, producendo la riflessione sotto un angolo di 50 gradi, per mezzo del termo-moltiplicatore di Melloni, trovarono i risultati seguenti:

Argento (plaqué)	0,97	Acciajo	0,82
Oro	0,95	Zinco	0,81
Ottone	0,93	Ferro	0,77
Platino	0,83	Ghisa	0,74

Vedremo quanto prima (364) quali siano le cause che modificano per una stessa sostanza il potere riflettente.

361. **Potere assorbente.** — Il *potere assorbente* dei corpi è la proprietà ch'essi hanno di lasciar penetrare nella loro massa una parte più o meno grande del calorico incidente.

Il potere assorbente di un corpo è sempre in ordine inverso del suo potere riflettente; cioè, quanto più un corpo riflette il calorico, tanto meno l'assorbe, e reciprocamente. Ma i due poteri non sono complementarii; cioè la somma delle quantità di calorico riflessa ed assorbita non rappresenta la totalità del calorico incidente. Essa ne è sempre minore, perchè il calorico incidente si divide realmente in tre parti: 1.ª una che è assorbita: 2.ª un'altra che è riflessa regolarmente, cioè, secondo le leggi più sopra dimostrate (355); 3.ª una terza che è riflessa irregolarmente, cioè in tutte le direzioni, e che chiamasi *calorico diffuso* (376).

Per determinare il potere assorbente dei corpi, Leslie fece uso dell'apparecchio già adoperato nella ricerca dei poteri riflettenti (fig. 242), sopprimendo però la piastra A e collocando il bulbo del termoscopio nel fuoco stesso dello specchio. Essendo questo bulbo successivamente coperto di nero fumo, di vernice, di foglie d'oro, d'argento, di rame, ecc., il termoscopio, sotto l'influenza della sorgente di calore M, indicava una temperatura tanto più elevata quanto più grande era il potere assorbente della sostanza che inviluppa il bulbo focale. Leslie constatò per tal guisa che il potere assorbente di un corpo è tanto maggiore quanto più piccolo è il suo potere riflettente. Nondimeno, in queste esperienze, il rapporto dei poteri assorbenti non

si può desumere da quello delle temperature indicate dal termoscopio, perchè qui non è applicabile rigorosamente la legge di Newton, la quale sussiste soltanto per corpi della stessa natura; mentre l'inviluppo, che copre la bolla posta al fuoco, viene mutato a ciascuna osservazione. Ma si vedrà fra poco (363) come si possono dedurre i rapporti dei poteri assorbenti da quelli degli emissivi.

Adoperando, come sorgente di calore, un recipiente cubico pieno d'acqua a 100°, Melloni, col suo termo-moltiplicatore, trovò i seguenti relativi poteri assorbenti:

Nero di fumo	100	Inchiostro della China	85
Cerussa	100	Gomma lacca	72
Colla di pesce	91	Metalli	13

362. **Potere emissivo**. — Il *potere emissivo* dei corpi è la loro proprietà di emettere, a parità di temperatura e di superficie, una più o men grande quantità di calorico.

Leslie adoperò l'apparecchio rappresentato nella figura 242 anche per determinare il potere emissivo dei corpi. A questo intento, il bulbo del termoscopio era collocato precisamente nel fuoco dello specchio, e le facce del cubo M erano formate di metalli differenti, o coperte di diverse sostanze, come sarebbero il nero di fumo, la carta, l'acqua, ecc. Empito il cubo d'acqua a 100°, ed a parità di tutte le altre circostanze, Leslie volgeva successivamente verso lo specchio ciascuna delle facce del cubo, e notava le temperature indicate dal termoscopio. Ora, per la faccia coperta di nero di fumo, la temperatura, al fuoco dello specchio, si innalzava di più che per tutte le altre, e le facce metalliche erano quelle che producevano le temperature più basse. Applicando a questo caso la legge di Newton, e rappresentando con 100 il calorico emesso dal nero di fumo, Leslie formò la seguente tavola dei poteri emissivi:

Nero di fumo	100	Colla di pesce	80
Acqua	100	Piombo non lucente	45
Carta	98	Mercurio	20
Cera lacca	95	Piombo raschiato	19
Vetro bianco ordinario	90	Ferro levigato	15
Inchiostro della China	88	Stagno, oro, argento, rame, ecc.	12

Importa notare che in questa tabella l'ordine dei corpi è precisamente inverso di quello della tavola dei poteri riflettenti.

De la Provostaye e Desains, i quali hanno fatto recentemente delle ricerche sui poteri emissivi, ottennero i se-

guenti numeri per i poteri emissivi dei metalli, riferiti a quello del nero di fumo, rappresentato da 100:

Platino laminato	10,80	Oro in foglie	4,28
— brunito	9,59	Argento puro laminato . . .	3,00
Argento non lucente, ridotto da chimica reazione . .	5,36	— puro brunito . . .	2,50
Rame in lamine	4,90	— ridotto da chimica reazione e brunito	2,25

D'onde si vede che il potere emissivo assegnato da Leslie ai metalli è soverchiamente grande.

363. **Identità del potere assorbente e dell'emissivo.** — Non si potrebbero dedurre i poteri assorbenti dai riflettenti, perchè si è veduto (361) che non sono rigorosamente complementarii gli uni degli altri. Ma i poteri assorbenti sarebbero determinati se si dimostrasse ch'essi sono pei varii corpi eguali ai loro poteri emissivi. Ora, questa appunto è la conseguenza che Dulong e Petit dedussero dal seguente esperimento. In un grande pallone di vetro, il quale era mantenuto a 0° nel ghiaccio, e le cui pareti erano annerite all'interno, fissarono questi fisici un termometro scaldato a principio ad una certa temperatura, per esempio a 15°, indi, fatto il vuoto nel pallone, dopo averlo posto in comunicazione con una macchina pneumatica mediante una tubulatura, lasciarono che il termometro si raffreddasse gradatamente, e contarono il tempo che impiegava a scendere da 10° a 5°. Ricominciando poi l'esperimento in verso contrario, cioè conservando le pareti del pallone a 15° e raffreddando il termometro a 0°, osservarono il tempo che il termometro impiegava a salire da 5° a 10°, e riconobbero che questo tempo era precisamente eguale a quello che aveva impiegato a discendere da 10° a 5°. D'onde conclusero che, per un medesimo corpo e per una stessa differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente, il potere emissivo è eguale al potere assorbente, poichè la quantità di calorico emesso ed assorbito in tempi eguali sono eguali.

364. **Cause che modificano il potere riflettente, l'assorbente e l'emissivo.** — Essendo eguali tra loro i poteri emissivo ed assorbente, ogni causa che modifica uno di essi modifica necessariamente in analoga maniera anche l'altro. E siccome il potere riflettente è, per così dire, inverso degli altri due, così diminuisce per ogni causa che valga ad aumentare questi ultimi e viceversa.

Si è già veduto che questi differenti poteri variano da

una sostanza all'altra; che i metalli hanno il massimo potere riflettente, ed il nero di fumo il minimo. Ma per uno stesso corpo, questi poteri sono anche modificati dal grado di levigatezza, dalla densità, dalla grossezza della sostanza irradiante, dall'obliquità dei raggi incidenti, e, finalmente, dalla natura della sorgente.

Si ammise per molto tempo che il potere riflettente crescesse in generale col grado della levigatezza della superficie, e che gli altri poteri di pari passo decrescessero. Ma Melloni ha constatato che, rigando una superficie metallica levigata, il suo potere riflettente ne veniva ora aumentato ora diminuito; il qual fenomeno viene attribuito da questo fisico alla diversa densità che assume la piastra metallica riflettente. Se questa piastra è stata primitivamente incrudita (71), l'omogeneità venne distrutta dall'incrudimento, le molecole sono più ravvicinate presso alla superficie che nell'interno della massa, ed il potere riflettente ne è aumentato. Ma, rigando la superficie, si discopre la massa interna, che è meno densa, ed il potere riflettente decresce. Al contrario, in una piastra non incrudita ed omogenea in tutta la sua massa, il potere riflettente è aumentato quando siasi scalfita la sua superficie con uno strumento acuminato, il che proviene da un aumento di densità delle parti superficiali prodotto dal tracciarvi le righe.

Anche la grossezza delle sostanze irradianti non può modificare il loro potere emissivo, come lo mostrano le esperienze di Leslie, di Rumford e di Melloni. Quest'ultimo riconobbe che coprendo di vernice le facce d'un cubo metallico pieno d'acqua a temperatura costante, il potere emissivo aumentava crescendo il numero degli strati fino a 16; e che al di là di questo limite quel potere restava costante, qualunque fosse il numero degli strati. Egli ha calcolato che la grossezza di 16 strati era di $^4/_{100}$ di millimetro. Applicando quindi successivamente sulle facce di un tubo di vetro delle foglie d'oro di 8, 4 e 2 millesimi di millimetro, trovò che la diminuzione di calorico raggiante era sempre la stessa. D'onde sembra emergere che, pei metalli, la grossezza dello strato irradiante, fino al minor limite cui si possa ridurla, non ha veruna influenza.

Melloni constatò altresì che il potere assorbente varia colla natura della sorgente di calorico. A cagione d'esempio, per una stessa quantità di calorico incidente, il carbonato di piombo esposto ai raggi emessi da una lampada ne as-

sorbisce la metà di quelli che assorbirebbe ove fossero emessi da un cubo pieno d'acqua a 100°. Il solo nero di fumo assorbisce sempre la stessa quantità di calorico qualunque ne sia la sorgente.

Il potere assorbente varia colla inclinazione dei raggi incidenti; raggiunge il suo massimo quando l'incidenza è normale, e diminuisce di mano in mano che i raggi incidenti si allontanano dalla normale. Questa è una delle cause per cui il suolo si scalda di più in estate che in inverno, perchè nell'estate i raggi solari sono meno obliqui.

Quando i corpi sono ridotti in polvere, sembrano tutti dotati dello stesso potere emissivo: tale almeno è il risultato delle esperienze di Masson e Courtepée, i quali trovarono questa eguaglianza per sedici tra venti sostanze sottoposte alla prova.

I corpi gasosi in combustione hanno potere emissivo assai scarso, come si può riconoscere accostando il bulbo di un termoscopio ad una fiamma d'idrogeno, benchè la temperatura della medesima sia molto alta. Che se entro la fiamma viene collocata una spirale di platino, questa, scaldandosi sino alla stessa temperatura della fiamma, dà un'abbondante irradiazione, come mostra l'indice del termoscopio. Per questa ragione le fiamme delle lucerne e del gas d'illuminazione irradiano calorico più che la fiamma d'idrogeno puro, poichè esse contengono del carbonio in eccesso, il quale non brucia ma diventa incandescente entro la fiamma.

365. **Applicazioni.** — La proprietà che hanno i corpi di assorbire, di riflettere o di emettere più o meno facilmente il calorico è fonte di numerose applicazioni nell'economia domestica e nelle arti. Leslie aveva enunciato in modo generale che i corpi bianchi riflettono benissimo il calore e l'assorbiscono poco, e che il contrario accade pei corpi neri. Ora questo principio non è così generale come aveva ammesso Leslie, poichè la cerussa, sebbene bianca, ha un potere assorbente eguale a quello del nero di fumo (361); ma per le stoffe di tela, di cotone, di lana e per molte altre sostanze è applicabile il principio di Leslie. Quindi, allorchè trattasi, per esempio, di scegliere le vesti più convenienti per l'inverno o per l'estate è facile riconoscere che in ambedue le stagioni si deve dare la preferenza alle vesti bianche. Infatti, avendo queste una facoltà emissiva minore di quella delle vesti nere, impediscono meglio nell'inverno la dispersione del calore del

nostro corpo; le vesti bianche nell' estate poi, essendo dotate di minore facoltà assorbente, assorbiscono dall' atmosfera minor quantità di calorico che le vesti nere, epperò ci sembrano più fresche. Per questo motivo appunto la natura ha concesso agli animali che abitano le regioni polari un pelo bianco, principalmente durante il verno.

I vasi nei quali si pongono a scaldare i liquidi, come le caffettiere, servono meglio quando la loro superficie è nera e scabrosa, perchè in tal caso il loro potere assorbente è maggiore. La lucentezza che si usa di dare a questi vasi è tutta a dispendio di combustibile. Se, al contrario, vuolsi conservare caldo un liquido pel maggior tempo possibile, bisogna collocarlo in un vase di metallo levigato e lucente, perchè, essendo in tal caso minore il potere emissivo, il raffreddamento è rallentato.

I montanari delle Alpi sogliono accelerare la fusione delle nevi coprendole di terra per aumentare il loro potere assorbente.

L' intonaco delle stufe e di altri simili caloriferi, che usiamo nelle nostre abitazioni, deve essere nero per facilitare la emissione del calorico; al contrario l' interno dei nostri camini dovrebbe essere rivestito di lastre di porcellana o di majolica bianche e lucenti, per aumentare la facoltà riflettente del focolare verso l' appartamento.

TRASMISSIONE DEL CALORICO RAGGIANTE ATTRAVERSO I CORPI.

366. *Diatermasia.* — Vi sono dei corpi che si lasciano attraversare dal calorico raggiante, alla stessa guisa che i corpi diafani lasciano passare la luce; altri sono privi di questa proprietà o non la posseggono che in debolissimo grado. Melloni ha dato ai primi il nome di corpi *diatermici* ed ai secondi quello di corpi *adiatermici*. I gas sono i corpi i più diatermici; i metalli sono del tutto adiatermici. A malgrado dell' analogia che sussiste fra il calorico raggiante e la luce, notiamo fin d' ora che i corpi trasparenti non sono sempre i più diatermici, e che i corpi opachi non sono sempre adiatermici.

Prévost, a Ginevra, e Delaroche, in Francia, scoprirono negli anni 1811 e 1812 parecchi dei fenomeni che offrono i corpi diatermici; ma solo nel 1832 Melloni, per mezzo di un ingegnoso apparato termometrico, che descriveremo più innanzi, diede una teoria compiuta delle proprietà diatermiche dei solidi e dei liquidi.

Questo fisico, nelle sue esperienze, ha fatto uso di cinque sorgenti di calore, cioè 1.º di una lampada di Locatelli, ossia senza tubo di vetro,

con specchio concavo ed a semplice corrente d'aria; 2.º d'una lampada d'Argant, ossia a doppia corrente d'aria e munita di tubo di vetro, come le lampade di Carcel; 3.º d'un filo di platino ravvolto a spira e mantenuto incandescente entro la fiamma d'una lampada ad alcoole; 4.º d'un piccolo cubo di rame annerito all'esterno e pieno d'acqua mantenuta a 100º: 5.º finalmente, d'una lastra di rame annerita e scaldata a 400º circa dalla fiamma d'una lampada ad alcoole.

Cangiando successivamente le piastre diatermiche e le sorgenti di calorico, Melloni constatò i fatti che ora esporremo.

367. *Cause che modificano la diatermasia.* — Le cause che modificano la diatermasia sono sei, cioè;

1.ª La natura delle sostanze di cui sono formate le lamine, che il calorico attraversa;

2.ª Il grado di levigatezza di queste lamine;

3.ª La loro grossezza;

4.ª Il numero delle lamine, che il calorico attraversa;

5.ª La natura delle lamine già attraversate;

6.ª La natura della sorgente di calore.

368. *Influenza della sotanza delle lamine.* — Sperimentando sopra differenti liquidi posti successivamente in un truogolo di vetro le cui facce opposte erano parallele e distanti l'una dall'altra di 9mill. 2, indi paragonando le indicazioni date dall'apparato, quando v'erano interposti dei liquidi, a quelle che si osservavano allorchè il calorico giungeva direttamente, Melloni trovò che, prendendo per sorgente calorifica una lampada d'Argant, di 100 raggi incidenti;

Il solfuro di carbonio ne lascia passare	63
L'olio d'ulive	30
L'etere	21
L'acido solforico	17
L'alcoole	15
L'acqua che tiene sciolto dello zuccaro o dell'allume .	12
L'acqua distillata	11

Sperimentando parimenti sopra diverse sostanze solide ridotte in lamine della grossezza costante di 2mill.,6 Melloni ottenne la seguente tabella:

Di 100 raggi, il sal gemma ne lascia passare . . .	92
lo spato d'Islanda ed il vetro da specchi .	62
il cristallo di rôcca affumicato . . .	57
il carbonato di piombo diafano . . .	52
il solfato di calce diafano	20
l'allume diafano	12
il solfato di rame	0

Dai risultati esposti nelle due tavole precedenti si deduce che certe

sostanze le quali permettono difficilmente il passaggio alla luce, come, a cagione d'esempio, il cristallo di ròcca affumicato, possono lasciarsi attraversare assai facilmente dal calorico; mentrecchè altre sostanze pochissimo permeabili al calorico, per esempio, il solfato di calce, e più di tutte l'allume, possono essere assai diafane. Queste diverse esperienze conducono dunque ad ammettere che non v'è relazione tra la diatermasia e la trasparenza dei corpi.

369. *Influenza della levigatezza.* — La diatermasia d'una lamina cresce colla sua levigatezza. Melloni trovò, per esempio, che le indicazioni del suo apparato variavano da 12 a 5 gradi quando s'interponevano delle lamine di vetro della stessa qualità e della stessa grossezza, ma più o meno levigate.

370. *Influenza della grossezza.* — La quantità di calorico che attraversa una lamina diatermica decresce al crescere della grossezza, ma l'assorbimento non le è proporzionale. L'assorbimento maggiore avviene, in generale, nei primi strati. Quando la grossezza sorpassa un certo limite, la quantità di calorico trasmessa si accosta ad un limite costante.

Melloni constatò questo fatto sperimentando sopra lamine di vetro bianco, le cui grossezze erano 1, 2, 3, 4, e trovò che, di 1000 raggi, queste lamine ne lasciavano passare rispettivamente, 619, 576, 558, 549, onde si scorge che le differenze tra questi numeri tendono a diventar nulle.

371. *Influenza del numero delle lamine.* — L'accrescimento del numero delle lamine attraversate dal calorico produce un effetto analogo all'incremento di grossezza, cioè l'assorbimento cresce meno rapidamente del numero delle lamine; ossia, in altre parole, la quantità di calorico assorbita decresce da una lamina alla successiva.

Inoltre parecchie lamine della stessa specie, e che trovinsi sovrapposte, intercettano maggior quantità di calorico che una lamina sola di una grossezza eguale alla somma delle singole loro grossezze. Finalmente, l'effetto prodotto da lamine sovrapposte di differenti sostanze è indipendente dall'ordine nel quale esse si succedono.

372. *Influenza della natura delle lamine già attraversate.* — I raggi calorifici, che hanno già attraversato una o più sostanze diatermiche, subiscono una modificazione la quale li rende più o meno atti ad attraversare nuove sostanze diatermiche. Paragonando, per esempio, i risultati ottenuti con una lampada d'Argant, la cui fiamma è cinta da un tubo di vetro, con quelli di una lampada di Locatelli, che ne è priva, Melloni trovò che, rappresentando con 100 i raggi incidenti, si hanno i seguenti risultati:

SOSTANZE	LAMPADA d'Argant	LAMPADA di Locatelli
Il sal gemma lascia passare	92	92
Lo spato d'Islanda ed il vetro da specchio	62	39
Il cristallo di rôcca affumicato	57	57
Il solfato di calce	20	14
L'allume	12	9

Si conchiude quindi che il calorico, il quale nella lampada d'Argant ha già attraversato il vetro, si trasmette più facilmente attraverso alle altre sostanze. Il sal gemma lascia sempre passare la stessa quantità di calorico incidente.

373. *Influenza della natura della sorgente.* — In generale, la natura della sorgente di calorico modifica assai la diatermasia dei corpi, come lo mostrano i risultati che ottenne Melloni adoperando quattro diverse sorgenti. Infatti, rappresentando ancora con 100 i raggi incidenti, questo scienziato ottenne i risultati che trovansi nella seguente tabella:

SOSTANZE	LAMPADA di Locatelli	PLATINO incandescente.	RAME scaldato a 400.°	RAME scaldato a 100.°
Il sal gemma lascia passare	92	92	92	92
Lo spato islandico.	39	28	6	0
Il vetro da specchio	39	24	6	0
Il solfato di calce.	14	5	0	0
L'allume	9	2	0	0

Questa tabella mostra che, ad eccezione del sal gemma, i solidi trasmettono quantità di calorico tanto minori quanto più bassa è la temperatura della sorgente, e non ne trasmettono punto quando la sorgente ha la temperatura di 100°. Lo stesso fenomeno è pure offerto dai liquidi.

374. *Differenti specie di raggi calorifici.* — Le proprietà che presenta il calorico nel suo passaggio attraverso ai corpi hanno condotto

Melloni a proporre sul calorico una ipotesi analoga a quella che già da tempo fu adottata per la luce. Siccome Newton ammise parecchie specie di raggi luminosi, il *rosso*, il *ranciato*, il *giallo*, il *verde*, il *turchino*, l'*indaco*, il *violetto*, i quali sono diversamente trasmissibili attraverso ai corpi diafani, e che possono trovarsi o isolati o combinati insieme; del pari Melloni ammette l'esistenza di parecchie specie di raggi calorifici, le quali sarebbero emesse simultaneamente, in proporzioni variabili, dalle diverse sorgenti di calore e sarebbero dotate della proprietà di attraversare più o meno facilmente le sostanze diatermiche. Queste sostanze possederebbero adunque una vera *colorazione* calorifera, cioè, assorbirebbero certi raggi e ne lascierebbero passare certi altri alla stessa guisa che un vetro turchino, per esempio, è attraversato dai raggi turchini e non da quelli d'altro colore.

La teoria di Melloni si spiega assai bene nel sistema delle ondulazioni, ammettendo che le proprietà delle differenti specie di calorico debbano attribuirsi a differenti numeri di vibrazioni, ossia ad onde calorifiche di diseguali lunghezze.

375. *Applicazioni della diatermasia.* — Benchè non siasi fatta alcuna esperienza diretta sulla diatermasia dei gas, non si può mettere in dubbio che l'aria sia assai diatermica, mentre in questo fluido si producono tutti i fenomeni di calorico raggiante. In virtù della loro grande diatermasia, gli strati superiori dell'atmosfera hanno sempre una temperatura bassa, quantunque siano attraversati dai raggi solari. Il fenomeno inverso accade nel seno dei mari e dei laghi, perchè l'acqua è poco diatermica. I soli strati superiori del liquido risentono delle variazioni di temperatura al variare delle stagioni, mentre ad una certa profondità la temperatura rimane costante.

Le proprietà dei corpi diatermici furono applicate utilmente a separare la luce ed il calorico irradianti simultaneamente da una stessa sorgente. Il sal gemma coperto di nero di fumo intercetta compiutamente la luce e lascia passare il calorico. Al contrario le lamine o le soluzioni di allume intercettano il calorico e lasciano passare la luce. Quest' ultimo processo si applica con vantaggio agli apparecchi che si rischiarano con raggi solari o colla luce elettrica, allorquando importi di evitare un calore soverchiamente intenso.

Nei giardini, l'uso delle campane con cui si coprono parecchie piante è fondato sulla diatermasia del vetro la quale si può desumere da una delle tavole precedenti (373). Questa sostanza è attraversata dai raggi solari che hanno una temperatura elevata, e non dai raggi calorifici oscuri emessi dalla porzione di suolo coperto dalla campana.

376. *Diffusione.* — Abbiamo già detto (361) che il calorico incidente sulla superficie di un corpo non si riflette tutto secondo le leggi della riflessione esposta precedentemente (355). Una porzione viene riflessa

irregolarmente, cioè in tutte le direzioni intorno al punto d'incidenza. Questo fenomeno si chiama *diffusione* o *riflessione irregolare* del calorico, e si denomina *riflessione regolare* o *speculare* quella che segue le leggi sopracitate. Il fenomeno della diffusione prodotta dalla superficie dei corpi fu scoperto da Melloni.

La riflessione regolare non si effettua che sopra superficie levigate; la irregolare, al contrario, producesi sulle superficie smorte o rugose, come le piastre di legno, di vetro, di metallo non levigate e smorte.

La facoltà diffusiva varia secondo la natura della sorgente e quella delle sostanze riflettenti. I corpi bianchi diffondono assai il calorico che irradia da una sorgente incandescente. I metalli smorti sono ancora più diffusivi dei corpi bianchi.

CAPITOLO X.

MACCHINE A VAPORE.

377. *Oggetto delle macchine a vapore.* — Le *macchine a vapore* sono apparati per mezzo dei quali la forza elastica del vapore acqueo viene impiegata come forza motrice.

Nelle macchine generalmente usate, il vapore, in causa della sua forza elastica, imprime ad uno stantuffo un moto rettilineo alternativo, il quale viene successivamente trasformato in circolare continuo, per mezzo di diversi organi meccanici.

Siccome ogni macchina a vapore si compone di due parti ben distinte, cioè dell'apparato in cui si produce il vapore e della macchina propriamente detta, così importa innanzi tutto far conoscere il primo di questi apparati.

378. *Generatore del vapore.* — Chiamasi *generatore* o *caldaja* l'apparato che serve alla produzione del vapore. A questo apparato si danno forme diverse secondo che deve servire per le macchine fisse o per le locomotive o pei battelli a vapore. La figura 243 rappresenta il generatore che viene più comunemente adottato per le macchine fisse. Consiste in un lungo cilindro di lamiera di ferro, terminato da due emisferi; al di sotto si trovano due altri cilindri di minor diametro, anch'essi di lamiera di ferro e comunicati col generatore per mezzo di due tubulature. Questi cilindri, dei quali uno solo è visibile nella figura, si chiamano *bollitoi* e sono destinati a ricevere la prima azione della fiamma. Questi bollitoi sono affatto pieni di acqua; la caldaja ne è piena per poco più della sua metà.

Al di sotto dei bollitoi trovasi il focolare nel quale si fa abbruciare del carbon fossile o della legna. I prodotti della combustione, dopo di aver circolato attorno ai bollitoi ed alla caldaja, sfuggono nell'atmo-

sfera per un camino al quale, in generale, si dà una grandissima altezza allo scopo di attivarne l'aspirazione (*tirage*).

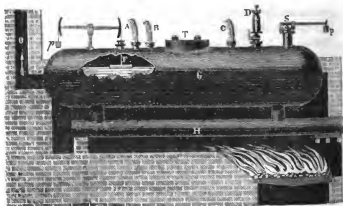



Fig. 243. ($l = 500$).

La seguente leggenda ci dispensa dall'entrare in più minuti particolari.

Leggenda esplicativa della figura 243.

A Canna di uscita che conduce il vapore per l'apertura *e* (fig. 245 pag. 385) alla camera di distribuzione della macchina.

B Tubo che conduce il vapore ad un manometro, il quale indica la pressione nell'interno della caldaja.

C Tubo che serve all'introduzione dell'acqua nella caldaja.

D *Fischietto di allarme*, così detto perchè serve a dar l'allarme quando l'acqua non è più bastante nella caldaia, circostanza che può essere causa di una esplosione nel momento in cui l'acqua vi è introdotta, perchè allora, essendo roventi le pareti, si produce gran copia di vapore. Fintanto che il livello arriva ad una certa altezza nella caldaia, il vapore non esce; ma se il livello discende al di sotto dell'altezza conveniente, un piccolo galleggiante, detto *di allarme* che non si vede nella figura e che chiude l'estremità inferiore del tubo D, si abbassa e permette l'uscita al vapore. Quest'ultimo, sprigionandosi, va ad urtare contro i lembi di un disco metallico, e gli fa produrre un suono acuto simile a quello che si ode frequentemente sulle strade ferrate.

F *Gallegiante indicatore* del livello dell'acqua nella caldaja. È composto di una pietra rettangolare sommersa in parte nell'acqua,

come mostra l'apertura fatta nella parete del generatore. Questa pietra, sospesa all'estremità di una leva, è tenuta in equilibrio dalla spinta del liquido e da un contrappeso *p*. Fintantochè l'acqua arriva all'altezza voluta, la leva che sostiene il galleggiante rimane orizzontale; ma si inclina verso F quando l'acqua non è sufficiente, ed in verso contrario se questa è soverchia. In ambedue i casi quest'apparato dà un indizio per regolare convenientemente l'introduzione dell'acqua d'alimentazione.

G *Generatore cilindrico* di lamiera di ferro terminato da due emisferi, totalmente chiuso.

H *Bollitoi* in numero di due posti l'uno accanto all'altro.

O Condotto del camino.

P Peso che gravita sulla valvola di sicurezza.

p Contrappeso del galleggiante.

R Porta del focolare.

S *Valvola di sicurezza* di cui fu data la descrizione parlando della pentola di Papin (304).

T Sportello *(trou d'homme)* che serve pel ripulimento e per le ripazioni della caldaja.

379. *Macchina a doppio effetto*, o *macchina di Watt.* — Si chiama *macchina a doppio effetto* quella nella quale il vapore agisce alternativamente al di sopra e al di sotto dello stantuffo. Questa macchina porta anche il nome di *macchina di Watt*, perchè è costrutta giusta il sistema che questo illustre ingegnere aveva adottato.

Dapprima daremo qui un'idea dell'insieme di questa macchina, indi ne descriveremo separatamente ognuna delle parti. Nella fig. 244, a sinistra, è rappresentato un cilindro di ghisa nel quale entra il vapore dalla caldaja. Una apertura nella parete di questo cilindro lascia vedere lo stantuffo sulle cui basi il vapore agisce alternativamente per farlo salire o discendere. Per mezzo dell'asta A, questo stantuffo trasmette il suo movimento alternativo ad una robusta leva di ghisa L, che si chiama *bilanciere* e che è sostenuta da quattro colonne pure di ghisa. Il bilanciere trasmette alla sua volta il proprio movimento ad una lunga sbarra di ghisa I, che si chiama asta del bilanciere (*bielle*), e che si articola su di una *manovella* K, alla quale imprime un moto di rotazione continua. La manovella è fissata ad un albero orizzontale di ghisa, che si chiama *albero principale* e che gira con essa. Quest'albero, mediante ruote di ingranaggio e correggie continue, trasmette il moto e la forza a diversi congegni, come molini per segare, tornii, laminatoj, ecc.

Alla sinistra del cilindro avvi la camera di distribuzione, dalla quale, mediante un meccanismo che descriveremo più innanzi (380), il vapore passa alternativamente al di sopra e al di sotto dello stantuffo. Ma è

necessario che, dopo avere agito sopra ognuna dalle basi dello stantuffo, il vapore sia sottratto; altrimenti si eserciterebbe una pressione nei due versi opposti e lo stantuffo rimarrebbe in equilibrio. Per ciò il vapore che ha agito sullo stantuffo passa in un cilindro O, che contiene dell'acqua fredda e che si chiama *condensatore*. Quivi il vapore si condensa, e, producendosi il vuoto nella parte del cilindro che co-

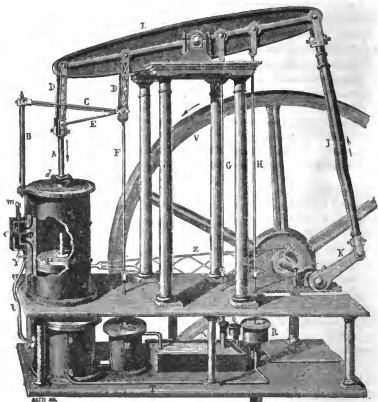



Fig. 244 ($a = 4{,}60$).

munica col condensatore, la pressione si esercita soltanto sopra una delle basi dello stantuffo e lo fa salire o discendere.

L'uso del condensatore è fondato sul principio della teoria dei vapori, dovuto a Watt, che quando due vasi comunicanti fra loro e contenenti del vapore alla tensione massima si trovano a temperature dif-

ferenti, la tensione del vapore è la stessa in questi due vasi e corrisponde alla temperatura del vase meno caldo (295).

Siccome l'acqua del condensatore si riscalda rapidamente per la liquefazione dei vapori, così deve essere costantemente rinnovata. Ciò si ottiene per mezzo di due trombe; una di esse, FM, che si chiama *tromba ad aria*, aspira dal condensatore l'acqua calda che contiene e nello stesso tempo l'aria che trovavasi sciolta nell'acqua del generatore, e che passa col vapore nel corpo del cilindro e nel condensatore: l'altra, HR, che si chiama *tromba ad acqua fredda*, aspira da un pozzo o da un fiume dell'acqua che viene spinta nel condensatore dalla pressione atmosferica.

Una terza tromba GQ, che si chiama *tromba alimentatrice*, serve ad injettare nel generatore l'acqua calda aspirata dal condensatore, onde si ha un risparmio di combustibile.

Macchina a vapore a doppio effetto.

Leggenda esplicativa.

A *Asta dello stantuffo* che si articola col parallelogrammo e serve a trasmettere al bilanciere il movimento alternativo dello stantuffo.

B Asta fissata al cilindro e che sostiene il braccio di richiamo C.

D,D,E Verghe che formano coll'estremità del bilanciere un *parallelogrammo articolato* al quale è fissata l'asta dello stantuffo, e che ha per oggetto di mantenere quest'asta sensibilmente nella stessa verticale durante la sua corsa.

F Asta della *tromba ad aria*, che esporta l'aria e l'acqua contenute nel condensatore.

G Asta della *tromba di alimentazione*, che spinge nel generatore l'acqua calda aspirata dal condensatore.

H Asta della *tromba ad acqua fredda*, che serve ad aspirare l'acqua fredda necessaria alla condensazione.

I Asta del bilanciere *(bielle)*, che trasmette il movimento dal bilanciere alla manovella.

K *Manovella* che trasmette il movimento dell'asta I all'albero principale.

L *Bilanciere* mobile sopra due orecchioni collocati a metà della sua lunghezza, e che trasmette il moto dallo stantuffo all'asta I.

M Cilindro della tromba ad aria in comunicazione col condensatore O.

N Serbatojo ove giunge l'acqua calda, che la tromba ad aria aspira dal condensatore.

O *Condensatore* pieno di acqua fredda, nel quale si liquefa il vapore dopo di avere agito sullo stantuffo.

P *Stantuffo metallico* mobile in un cilindro di ghisa; questo stantuffo, il quale riceve direttamente la pressione del vapore, trasmette il moto a tutte le parti della macchina.

Q Cassa d'aria (179) della tromba premente alimentatrice che spinge l'acqua nella caldaja.

R Serbatojo della tromba ad acqua fredda.

S Tubo che guida nel generatore l'acqua calda spinta della tromba d'alimentazione.

T Tubo che guida nel condensatore l'acqua aspirata dalla tromba ad acqua fredda.

U Tubo che conduce dal cilindro al condensatore il vapore che ha agito sullo stantuffo.

V Grande ruota di ghisa chiamanta *volante,* che gira coll'albero principale e serve a regolare il moto in virtù della sua inerzia, principalmente quando lo stantuffo è agli estremi della sua corsa.

Y Leva a gomito che trasmette il moto dell'eccentrico *e* al cassetto *b*.

Z Tirante dall'eccentrico.

a Orifizio che comunica ora colla parte superiore, ora colla parte inferiore del cilindro e serve a lasciar passare il vapore nel tubo U e quindi nel condensatore.

b Asta che trasmette il moto al *tiratojo* o *cassetto,* ordigno il quale serve a far giungere il vapore ora al di sopra, ora al di sotto dello stantuffo, e che sarà descritto più innanzi all'articolo *distribuzione del vapore.*

c Luce per la quale il vapore passa dal generatore nella cassa del tiratojo.

d *Scatola a stoppa* nella quale scorre l'asta dello stantuffo, senza lasciar passare il vapore.

e *Eccentrico* fissato all'albero principale e che gira in un anello al quale si attacca il tirante Z.

m Verga che lega l'asta del tiratojo alla leva angolare Y ed all'eccentrico.

La parte inferiore della figura 244 non rappresenta esattamente la disposizione che si suol dare alla tromba, al serbatojo dell'acqua calda ed a quello dell'acqua fredda, ma le modificazioni che vi furono introdotte hanno per iscopo di far intendere più chiaramente come queste parti funzionino e comunichino tra loro.

380. *Distribuzione del vapore, eccentrico.* — La figura 245 rappresenta le parti della *distribuzione del vapore*. Una canna *c*, la quale comunica colla caldaja, guida il vapore in una cassa parallelepipeda di ghisa fissata sul cilindro, chiamata *cassa del tiratojo*. Nella parete del cilindro sono praticati tre orifizii o *luci u, n, a*; mediante canali interni, il primo, *u*, comunica colla parte superiore del cilindro, il se-

condo, *n*, colla parte inferiore, ed il terzo, *a*, coll'imboccatura *r* di un tubo che termina nel condensatore. Sui tre orifizii scorre un pezzo *t*, che si nomina *cassetto* o *tiratojo (glissière, tiroir)*, il quale è fissato ad un'asta *b* unita ad articolazione in *m* con un'asta più grande *d*, e riceve con essa un moto alternativo da una leva a gomito, *yo*S, congiunta coll'eccentrico. Quando il tiratojo è all'estremo superiore della sua corsa, come dimostra la figura, il vapore penetra per la luce *n* e

Fig. 245.

passa nella parte inferiore del cilindro, mentre non può entrare per la luce *u*, che allora è coperta dal tiratojo; ma quel vapore che trovasi al di sopra dello stantuffo passa attraverso alla stessa luce *u*, indi pel foro *r* va nel condensatore. Perciò lo stantuffo in tal caso non è premuto che dal basso all'alto ed ascende.

Al contrario, quando il tiratojo è all'estremo inferiore della sua corsa, il vapore che viene entra per la luce *u*, e la luce *n* lascia libero il passaggio al vapore che è al di sotto dello stantuffo per giungere al condensatore; quindi lo stantuffo discende, e così di seguito a ciascuno spostamento del cassetto.

Il tiratojo riceve il movimento alternativo dall'*eccentrico*. Chiamasi con questo nome un pezzo circolare E fissato all'albero A, ma in maniera che il suo centro non si trova nell'asse di quell'albero. L'eccen-

trico è avviluppato da un collare C nel quale ruota a sfregamento dolce. A questo collare si attaccano le verghe ZZ. Il collare, senza girare, segue il moto dell'eccentrico e ne riceve, nella direzione orizzontale, un moto alternativo che comunica alla leva *Soy* e quindi al cassetto.

381. ***Macchina ad effetto semplice.*** — Chiamasi *macchina ad effetto semplice* quella nella quale il vapore agisce soltanto sulla base superiore dello stantuffo; quest'ultimo risale poi per l'azione di un contrappeso fissato all'altra estremità del bilanciere. Queste macchine, di cui

Fig. 246. ($a = 950$).

oggidì si è reso rarissimo l'uso, furono da principio adoperate, specialmante da Watt, all'oggetto di far agire delle trombe per l'estrazione dell'acqua dalle miniere. In questo caso, per la loro semplicità, sono preferibili alle macchine a doppio effetto e se ne fa ancor uso nella contea di Cornovaglia in Inghilterra.

La figura 246 rappresenta lo spaccato di una macchina ad effetto semplice. Il bilanciere BB è di legno; alle sue estremità vi sono due pezzi curvati ad arco di cerchio su cui si avvolgono due catene, una delle quali è fissata all'asta dello stantuffo P che riceve l'azione del vapore, l'altra all'asta della tromba. A destra del cilindro A è rappresentata la camera di distribuzione C, nella quale giunge il vapore dalla caldaja per mezzo del tubo T. Un'asta *d* porta tre valvole *m*, *n*, *o*. Le valvole *m* ed *o* si aprono dal basso all'alto; la sola valvola *n* si apre dall'alto al basso.

Essendo aperte le valvola *m* ed o, come mostra la figura, il vapore della caldaja va liberamente, per mezzo del tubo T, al di sopra dello stantuffo P, mentre quello che trovasi al di sotto di esso passa nel condensatore N, mediante il condotto M; allora lo stantuffo discende. Ora, l'asta che porta le valvole *m*, *n*, o è unita ad una leva angolare *dck* mobile su di una cerniera *c*. Questa leva angolare fa aprire e chiudere le valvole. A tal uopo, una sbarra F, fissata al bilanciere, è munita di due prominenze *a* e *b*, per mezzo delle quali urta sull'estremità *k* della leva a gomito. Trovandosi le valvole disposte come nella figura 246, lo stantuffo discende insieme alla sbarra F; quindi la prominenza *b* batte sulla leva e la fa discendere simultaneamente all'asta *d m* o; allora le valvole *m* ed o si chiudono, e si apre la valvola *n*. In tal momento è interrotta ogni comunicazioni colla caldaja e col condensatore; ma il vapore che ha fatto discendere lo stantuffo passa liberamente al di sotto del medesimo a traverso del condotto C. Premendo allora egualmente le due basi dello stantuffo, si fa equilibrio da sè stesso, e lo stantuffo risale per effetto della trazione esercitata dal peso Q: a tale effetto non abbisogna che poca forza, perchè nella tromba di prosciugamento lo sforzo è necessario soltanto durante l'innalzamento dello stantuffo. All'istante in cui lo stantuffo P giunge alla sommità della sua corsa, la prominenza *a* urta alla sua volta contro la leva *k*, solleva l'asta *d n o*, ed il vapore ritorna sulla base superiore dello stantuffo e lo fa discendere di nuovo, e così successivamente.

382. *Locomotive*. — Si chiamano *macchine locomotive*, o semplicemente *locomotive*, alcune macchine a vapore, le quali, disposte sopra carri, si spostano da sè stesse trasmettendo il moto alle ruote.

Nelle locomotive, il parallegrammo, il bilanciere ed il volante delle macchine fisse sono soppressi, ed è compiutamente modificata anche la forma del generatore. Le parti principali di queste macchine sono il *telajo*, la *cassa fumaria*, il *corpo cilindrico della caldaja*, la *cassa di riscaldamento*, i *cilindri* coi loro cassetti, le *ruote motrici* e *l'apparato di alimentazione*.

Il telajo è una cornice di legno di quercia sostenuta dalle sale delle

ruote, e che porta tutte le parti della macchina. Nella figura 247, sulla piattaforma di lamiera di ferro che copre il telajo, vedesi il meccanico che deve dirigere la locomotiva, rappresentato nell'istante in cui si dispone ad aprire il regolatore I situato nella parte superiore della cassa di riscaldamento Z. Alla parte inferiore di quest'ultima avvi il focolare d'onde la fiamma ed i prodotti della combustione passano nella cassa fumaria Y, indi nella canna del camino, dopo di aver attraversato 125 tubi di ottone, che sono interamente immersi nell'acqua della caldaja.

La caldaja che unisce la cassa di riscaldamento colla cassa fumaria è di rame, di forma cilindrica e del diametro di circa un metro; essa è circondata di doghe di anacardio od acajù, le quali, in causa della loro debole conduttività, ne rallentano il raffreddamento. Uscendo dalla caldaja, il vapore passa nei due cilindri situati a ciascun lato della cassa fumaria, ed in essi, per mezzo di una distribuzione analoga a quella più sopra descritta (380), agisce alternativamente sulle due basi degli stantuffi le cui aste trasmettono il moto agli assi delle ruote motrici. Nella figura 247 la camera di distribuzione non è visibile, essendo essa collocata sotto il telajo fra i due cilindri. Il vapore, dopo di avere agito sugli stantuffi, va a disperdersi nell'atmosfera a traverso del camino, e così contribuisce a rendere maggiore l'aspirazione.

La trasmissione del moto degli stantuffi alle due ruote grandi si compie per mezzo di due aste (*bielles*) e di due manovelle che collegano le aste degli stantuffi cogli assi di queste ruote. I tiratoi ricevono il movimento alternativo nelle loro casse per mezzo di eccentrici situati sugli assi delle ruote motrici.

L'alimentazione, ossia la rinnovazione dell'acqua nella caldaja, si ottiene per mezzo di due trombe aspiranti e prementi situate sotto al telajo e messe in moto da eccentrici. Queste trombe, mediante tubi di comunicazione, aspirano l'acqua da un serbatojo collocato sul carro di seguito, *tender*, cioè sul carro che succede immediatamente alla locomotiva e che porta l'acqua ed il carbone occorrenti per un viaggio determinato.

La leggenda esplicativa, che accompagna la figura, ci dispensa dall'entrare in più estesi schiarimenti.

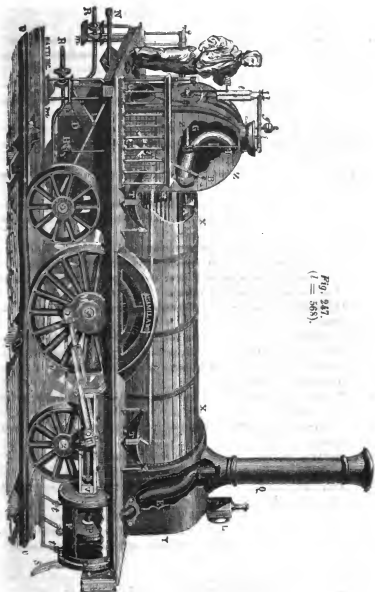



Fig. 247.
($l = 568$).

Locomotiva a cupola.

(Leggenda esplicativa.)

A Tubo di rame che riceve il vapore dall'estremità I e si biforca all'altra estremità per condurlo ai due cilindri contenenti gli stantuffi motori.

B Impugnatura della leva di cambiamento di direzione. Questa leva trasmette il moto alla spranga C, che lo comunica agli organi della distribuzione del vapore.

C Spranga del cambiamento di direzione.

D Parte inferiore della cassa di riscaldamento contenente la graticola del focolare.

E Tubo pel quale si sprigiona il vapore dopo che ha agito sugli stantuffi.

F Cilindro di ghisa contenente uno stantuffo motore. Ve n'è uno a ciascun lato della locomotiva. Il cilindro fu disegnato aperto per lasciar vedere lo stantuffo.

G Spranga che serve ad aprire il regolatore I per lasciar passare il vapore nel tubo A. Nella figura è rappresentato il meccanico mentre afferra colla mano la leva che fa girare questa spranga.

H Chiavetta di scarico della caldaja

I Regolatore che si apre e si chiude a mano per la immissione del vapore.

K Grande asta (*bielle*) motrice, a forchetta, che riunisce la testa dell'asta dello stantuffo alla manovella M delle ruota motrice.

L Lampada e specchio che di notte servono ad indicare l'avvicinarsi della locomotiva.

M Manovella che trasmette all'asse della ruota grande il movimento dello stantuffo.

N Attaccatura col carro di seguito, o *tender*, posto dietro alla locomotiva.

O Sportello del focolare pel quale si introduce il coke.

P Stantuffo metallico la cui asta si articola coll'asta K.

Q Tubo del camino, pel quale sfuggono il fumo ed il vapore che escono dai cilindri.

R,R Tubi conducenti l'acqua dal tender a due trombe prementi, le quali alimentano la caldaja, ma che nella figura non sono visibili.

S Pezzo che scaccia le pietre o qualsiasi altro oggetto che ingombri la via.

TT Molle sostenenti la caldaja.

UU Guide di ferro, tenute ferme sulla via per mezzo di cuscinetti di ghisa fissati sopra traverse di legno.

V Intelajatura della scatola da stoppa dei cilindri.

XX Corpo cilindrico della caldaja coperto da doghe di acajù destinate, per la debole loro conduttività, a diminuire la perdita di calorico. Si vede, al di sotto del tubo A, sin dove si eleva il livello dell'acqua nella caldaja. Nell'acqua stanno immersi dei tubi di ottone *a*, a traverso dei quali passano i prodotti della combustione per recarsi nella cassa fumaria.

Y Cassa fumaria nella quale sboccano i tubi *a*.

ZZ Cassa di riscaldamento sormontata da una cupola nella quale passa il vopore.

a Tubi di ottone in numero di 125, aperti alle due estremità, i quali comunicano ad un capo colla cassa di riscaldamento ed all'altro colla cassa fumaria. Questi tubi trasmettono il calore del focolare all'acqua della caldaja, e contribuiscono a convertirla in vapore.

b Direttore del moto, collocato lateralmente alla camera del fuoco e munito di intaccature nelle quali possono ingranare le braccia della leva B. L'intaccatura estrema anteriore corrisponde al moto in avanti; l'intaccatura estrema posteriore al moto all'indietro; l'intaccatura di mezzo è un punto-morto. Le intaccature intermedie fra queste e le intaccature estreme danno l'espansione per il moto in avanti e in addietro.

e Astuccio contenente delle molle a spira, le quali regolano l'azione della tavola di sicurezza *i*.

g Fischietto d'allarme che si fa udire alla distanza di 2000 metri.

i Valvola di sicurezza.

m,m Sgabello per salire sulla piattaforma della locomotiva.

n Tubo di cristallo situato davanti al meccanico e che indica il livello dell'acqua nella caldaja, colla quale comunica pe' suoi due capi.

r,r Guide destinate a mantenere in linea retta il moto della testa dello stantuffo.

t,t Chiavette per evacuare i cilindri dopo che sono stati scaldati dal vapore al cominciare della corsa.

v Spranga che trasmette il moto alle chiavette di evacuazione.

383. *Macchine a reazione*; *eolipila.* — Chiamansi *macchine a reazione* alcune macchine nelle quali il vapore opera per reazione, come fa l'acqua nell'arganetto idraulico (84). Gli antichi avevano già un'idea di queste macchine; 120 anni prima di Gesù Cristo, Erone di Alessandria, l'inventore della fontana che porta il di lui nome, descrisse il seguente apparecchio denominato *eolipila a reazione*

È una sfera cava di metallo (fig. 248) che può girare liberamente intorno a due perni. Alle estremità di uno stesso diametro sono fissate due tubulature, che presentano lateralmente ed in direzione con-

traria degli orifizii dai quali sfugge il vapore. Per introdurre dell'acqua in questa sfera, si riscalda dapprima quest' ultima allo scopo di rarefare l'aria, indi la si immerge nell' acqua fredda; l'aria si contrae, ed il liquido vi penetra. Se si riscalda allora l'apparato sino all'ebollizione, il vapore che si sviluppa gli imprime un moto rapido di rotazione, il quale è dovuto alla pressione del vapore sulla parete opposta all' orifizio di uscita.

Si fecero diversi tentativi allo scopo di trarre partito in grande dalla reazione del vapore come forza motrice; si tentò anche di farlo agire per impulsione, dirigendo un getto di vapore sulle palette di una ruota girante; ma, in questi differenti processi, il vapore non produsse giammai l'effetto utile che si ottiene facendolo agire per pressione e per espansione su di uno stantuffo.

Fig. 248. ($a = 18$).

384. ***Macchine a bassa, ad alta ed a media pressione.*** — Oltre la distinzione di macchine a vapore ad effetto semplice e doppio, si fa spesso anche quella di macchine a bassa, a media e ad alta pressione. Dicesi che una macchina è a *bassa pressione*, quando la tensione del vapore non oltrepassa 1 atmosfera $^1/_4$; a *media pressione*, quando la tensione del vapore è compresa fra 1 atmosfera ed $^1/_4$ e 4 atmosfere, e ad *alta pressione* quando il vapore agisce con una tensione superiore a 4 atmosfere.

385. ***Macchine ad espansione ed a pieno vapore.*** — Quando il vapore arriva liberamente sullo stantuffo, durante tutta la corsa del medesimo, conserva sensibilmente la stessa forza elastica, ed allora si

dice che la macchina è a pieno vapore; ma se, per una particolare disposizione del tiratojo, il vapore cessa di giungere sullo stantuffo allorchè questo si trova soltanto ai due terzi od ai tre quarti della sua corsa, allora la macchina dicesi *ad espansione, a scappamento* (*à détente*). Il vapore, in questo caso, per la sua forza espansiva, opera ancora sullo stantuffo e lo spinge sino al termine della sua corsa.

Finalmente, si chiamano *macchine a condensazione* quelle che sono fornite di un condensatore in cui il vapore si liquefa dopo di aver agito sullo stantuffo, e *macchine senza condensazione* quelle che mancano di condensatore; a queste ultime spettano le locomotive.

386. *Cavallo-vapore.* — In meccanica applicata si chiama *lavoro meccanico* di un motore il prodotto dello sforzo che esso esercita per lo spazio percorso dal corpo cui è applicato, e si prende per unità di lavoro meccanico il *chilogrammetro*, che è il lavoro necessario per elevare 1 chilogrammo ad un metro di altezza.

Nella misura del lavoro delle macchine a vapore si prende per unità il *cavallo-vapore*, il quale rappresenta *il lavoro necessario per elevare 75 chilogrammi ad 1 metro di altezza in 1 minuto secondo* (*); perciò esso equivale a 75 chilogrammi. Quindi è una macchina di 40 cavalli quella che può elevare, senza interruzione, 40 volte 75 chilogrammi, ossia 3000 chilogrammi ad un metro di altezza in ogni minuto secondo. Del resto il cavallo-vapore è un cavallo convenzionale, il cui lavoro è prossimamente doppio di quello degli ordinarii cavalli da tiro.

CAPITOLO XI.

SORGENTI DI CALORE.

387. **Sorgenti di calore.** — Le sorgenti di calore sono: 1.° le *sorgenti meccaniche*, le quali comprendono lo sfregamento, la percussione e la compressione; 2.° le *sorgenti fisiche*, cioè la radiazione solare, il calore terrestre, le azioni molecolari, i cambiamenti di stato e l'elettricità; 3.° le *sorgenti chimiche*, cioè le combinazioni chimiche e

(*) Conviene distinguere accuratamente il lavoro di un motore dalla sua *potenza dinamica*. Infatti, uno stesso lavoro può essere somministrato da motori di diversa potenza dinamica, però in tempi diversi. La *potenza dinamica* è l'attitudine di un motore qualunque a produrre continuamente un certo lavoro in ogni periodo determinato di tempo. Quindi la potenza dinamica di una macchina a vapore si potrebbe rappresentare col numero di chilogrammetri che essa può dare in ogni minuto secondo. Ma si è addottata comunemente per unità di misura della potenza dinamica quella che è atta a sollevare continuamente 75 chilogrammi all'altezza di un metro in ogni minuto secondo, e questa unità convenzionale si è chiamata cavallo-vapore. Quando pertanto si conoscesse la potenza dinamica di una macchina a vapore espressa con un numero di chilogrammetri per ogni minuto secondo, dividendo questo numero per 75, si avrebbe la misura della potenza della macchina in cavalli-vapore. (Nota dei Trad.)

segnatamente la combustione. Il calore animale, il cui studio spetta alla fisiologia, deve essere riferito alle sorgenti chimiche.

Sorgenti meccaniche.

388. **Calore prodotto dallo strofinamento.** — Lo strofinamento reciproco di due corpi sviluppa una quantità di calorico tanto più grande quanto più forte è la compressione e più rapido il movimento. Per esempio, spesse volte i bussoli delle ruote da carozza, per effetto del loro attrito contro le sale, si riscaldano al punto di accendersi. H. Davy ottenne la parziale fusione di due pezzi di ghiaccio, strofinandoli l'uno contro l'altro in una atmosfera al di sotto di 0°. Traforando sott'acqua una massa di bronzo, Rumford trovò che il calore sviluppato dallo strofinamento necessario per ottenere 250 grammi di limatura è capace di scaldare 25 chilogrammi di acqua da 0° a 100°, ossia è rappresentato da 2500 calorie (379). Nella Esposizione universale del 1855, Beaumont e Mayer mostrarono un apparato per mezzo del quale, in alcune ore, essi potevano scaldare 400 litri d'acqua da 10 a 130 gradi per mezzo dello strofinamento di un cono di legno coperto di canape, che girava, facendo 400 rivoluzioni in un minuto, entro un cono di rame, cavo, fisso ed immerso nell'acqua in una caldaja esattamente chiusa. Le superficie che venivano a strofinarsi erano continuamente ingrassate con olio.

Nell'acciarino a pietra focaja le particelle metalliche che si staccano, per il solo effetto dello strofinamento dell'acciajo contro la selce, si riscaldano al punto d'accendersi nell'aria.

Si attribuisce il calore sviluppato dall'attrito ad un movimento vibratorio, che con questo mezzo si imprime alle molecole dei corpi.

389. **Calore dovuto alla compressione ed alla percussione.** — La temperatura di un corpo, compresso in modo da renderne maggiore la densità, si innalza tanto più quanto è più grande la diminuzione di volume. Questo fenomeno, poco sensibile nei liquidi, è più evidente nei solidi; ma nei gas, i quali sono assai compressibili, lo sviluppo di calore è considerabile.

Si dimostra il grande svolgimento di calore che si produce nei gas compressi, per mezzo dello *schizzetto pneu-*

matico. Quest'apparato è composto di un tubo di vetro a pareti grosse nel quale scorre uno stantuffo di cuoio che chiude esattamente (fig. 249). Nella base interna di questo stantuffo avvi una cavità entro la quale si colloca un pezzetto di esca. Abbassando rapidamente lo stantuffo verso il fondo del tubo pieno d'aria, questa, per la compressione cui soggiace, si riscalda a segno da accendere l'esca, che si vede abbruciare, ritirando rapidamente lo stantuffo. In quest'esperimento l'accensione dell'esca dimostra una temperatura corrispondente almeno a 300°. All'istante della compressione, si produce una luce piuttosto viva che in

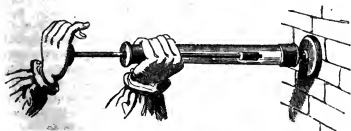



Fig. 249. ($l = 39$).

sulle prime si attribuì all'alta temperatura alla quale l'aria è portata; ma si riconobbe che essa è dovuta unicamente alla combustione di una piccola parte dell'olio onde è spalmata la superficie dello stantuffo.

La compressione basta per determinare la combinazione e quindi la detuonazione di una mescolanza di ossigeno e di idrogeno, in forza dell'innalzamento di temperatura che viene prodotto.

Il calore sviluppato dalla compressione si attribuisce all'avvicinamento delle molecole, il quale fa passare allo stato di calorico sensibile una certa quantità di calorico latente.

Anche la percussione è una sorgente di calore, siccome si può constatare battendo sull'incudine un metallo malleabile. Il calore, che allora si sviluppa, non è dovuto soltanto all'avvicinamento delle molecole, ma risulta altresì da un movimento vibratorio, perchè si riscalda anche il piombo, il quale, per mezzo della percussione, non aumenta di densità.

Sorgenti fisiche.

390. **Radiazione solare.** — Il sole è la sorgente più intensa di calore. Si ignora la causa del calore emesso da quest'astro che alcuni considerano siccome una massa infuocata soggetta ad immense eruzioni, e che altri riguardano come composta di strati reagenti chimicamente gli uni sugli altri, come le coppie della pila voltiana, d'onde ne risulterebbero delle correnti elettriche alle quali sarebbero dovuti la sua luce ed il suo calore. In ambedue queste ipotesi l'incandescenza del sole avrebbe un termine.

Si fecero dei tentativi per misurare la quantità di calorico emessa annualmente dal sole. Pouillet, dietro esperimenti eseguiti per mezzo di un apparato cui applicò il nome di *pireliometro*, giudicò che la quantità totale del calorico che la terra riceve dal sole nel corso di un anno, quando fosse tutta quanta impiegata per fondere del ghiaccio, sarebbe capace di liquefarne uno strato della grossezza di quasi 31 metri su tutta la superficie del globo. Ora, la terra, avuto riguardo alla superficie che presenta all'irradiazione del sole ed alla distanza che la separa dal medesimo, non riceve che $^1/_{2381000000}$ del calore solare.

391. **Calore terrestre.** — Il globo terrestre è fornito di un calore proprio, che si distingue col nome di *calore centrale*. Di fatti, ad una profondità poco considerabile, ma che varia a norma dei paesi, si trova uno strato la cui temperatura è costante in tutte le stagioni; d'onde si conchiude che il calore solare non penetra al di sotto del suolo che ad una profondità determinata. Al di sotto di questo strato, che si denomina *strato invariabile*, si osserva che la temperatura aumenta, in media, di un grado per ogni 30 o 40 metri di profondità. Questa legge dell'aumento della temperatura del suolo è stata verificata sino a grandi profondità nelle miniere e nei pozzi trivellati. Estendendola sino ad una profondità di 3500m, cioè a poco meno di una lega metrica, la temperatura dello strato corrispondente sarebbe già di 100 gradi. Le acque termali ed i vulcani confermano l'esistenza del calore centrale.

La profondità alla quale si trova lo strato invariabile non è la stessa sui differenti punti del globo; a Parigi essa è di 27m, ed a questa profondità la temperatura è costantemente di 11°,8.

Diverse ipotesi furono proposte per dare spiegazione del calore centrale, tra le quali la più generalmente adottata dai fisici e dai geologi è che la terra sia stata primitivamente allo stato liquido in causa di una temperatura elevata, e che per l'irradiazione, la sua superficie siasi raffreddata a poco a poco in modo da formare una corteccia solida, la quale, anche attualmente, avrebbe soltanto da 14 a 15 leghe di grossezza, conservandosi tuttavia allo stato liquido la massa centrale. Il raffreddamento di questa massa non può essere che lentissimo, a motivo della debole conduttività degli strati costituenti la corteccia solida. Per la medesima causa sembra che il calore centrale non elevi la temperatura della superficie del suolo più di $^1/_{36}$ di grado.

392. **Calore sviluppato dalla imbibizione e dall'assorbimento.** — In generale, i fenomeni molecolari, quale l'imbibizione (121), l'assorbimento, le azioni capillari, sono accompagnati da svolgimento di calore. Pouillet ha constatato che, quando si versa un liquido su di un solido assai diviso, succede un innalzamento di temperatura, il quale varia secondo la natura delle sostanze. Colle materie inorganiche, come i metalli, gli ossidi, le terre, l'elevazione di temperatura è da 2 a 3 decimi di grado; ma colle materie organiche, siccome la spugna, la farina, l'amido, le radici, le membrane essiccate, l'aumento di temperatura varia da 1 a 10 gradi.

Fig. 250.

L'assorbimento dei gas effettuato dai corpi solidi presenta gli stessi fenomeni. Döbereiner trovò che il platino assai diviso, ottenuto allo stato di precipitato chimico e denominato *nero di platino*, collocato nel gas ossigeno, assorbisce un volume di questo gas che è parecchie centinaia di volte maggiore del suo; riconobbe inoltre che, in questo caso, la temperatura s'innalza in modo da dare origine a combustioni vivissime. La *spugna di platino*, che si ottiene precipitando col sale ammoniaco il cloruro di

platino in soluzione e calcinando poi il precipitato, produce il medesimo effetto. Un getto di idrogeno diretto contro di essa si accende per lo sviluppo di calore dipendente dall'assorbimento.

Su questo principio è fondato *l'accendilume a spugna di platino.* Quest'apparato risulta di due recipienti di vetro (fig. 250); il primo, A, penetra nel vase inferiore, B, per mezzo di una tubulatura smerigliata, che lo chiude esattamente. All'estremità di questa tubulatura è unita una massa di zinco Z, che si immerge nell'acqua mescolata con acido solforico. Per la reazione reciproca dell'acqua, dell'acido e del metallo, si sviluppa dell'idrogeno, il quale, non trovando dapprima alcuna uscita, respinge l'acqua del vase B nel vase A, sino a che lo zinco emerga dal liquido; il turacciolo del vase superiore è munito lateralmente di una solcatura che permette l'uscita dell'aria di mano in mano che l'acqua si eleva. Una tubulatura di ottone H, fissata sulla parete laterale del vase B, porta un piccolo cono C in cui è praticato un orifizio, al di sopra del quale avvi una spugna di platino contenuta in una capsuletta D.

Quindi, appena che si apre una chiavetta che chiude il tubo di ottone, l'idrogeno si sprigiona e si infiamma a contatto del platino. Bisogna aver cura di non presentare il platino alla corrente di idrogeno se non quando questo gas ha strascinato fuori del vase B tutta l'aria che trovavasi in esso primitivamente contenuta, altrimenti si produrrebbe una detuonazione dovuta alla combinazione dell'ossigeno coll'idrogeno contenuti nel vase B.

Fabre, il quale fece recentemente delle ricerche sul calore che si sviluppa mentre un gas è assorbito dal carbone (122), giunse a questo notabile risultato che il massimo sviluppo di calore prodotto dall'assorbimento di un grammo d'acido solforoso o di protossido d'azoto sopravanza di gran lunga il calore svolto nella liquefazione di un egual peso dei medesimi gas. Pel gas acido carbonico, il calore reso libero nell'assorbimento supera anche quello che si svolgerebbe nella sua solidificazione. Quindi si deve conchiudere che lo sviluppo di calore nell'assorbimento dei gas non può essere compiutamente spiegato col supporre che il gas diventi liquido o si solidifichi nei pori del carbone; ma che bisogna inoltre ammettere un azione speciale tra le molecole del carbone e quelle del gas, la quale azione Mitcherlich ha contraddistinta col nome di *affinità capillare.*

Del calorico reso libero dai cambiamenti di stato si parlò già agli articoli *Solidificazione* e *Liquefazione* (279) e (307): la quistione del calore sviluppato dalla elettricità sarà trattata nella teoria dei fenomeni elettrici.

Sorgenti chimiche.

393. **Combinazioni chimiche, combustione.** — Le combinazioni chimiche sono generalmente accompagnate da una più o meno abbondante sviluppo di calore. Quando queste combinazioni si compiono lentamente, come avviene allorchè il ferro si ossida all'aria, il calore sviluppato non è sensibile; ma quando si compiono rapidamente, lo sviluppo di calore è assai intenso ed in tal caso avviene una combustione.

Chiamasi *combustione* una combinazione chimica qualunque che avvenga con svolgimento di calore e di luce. Le combustioni della legna, dell'olio, della cera sono combinazioni dell'idrogeno e del carbonio di queste sostanze coll'ossigeno dell'aria. Ma si producono delle combustioni anche indipendentemente dall'ossigeno. Per esempio, il fosforo e l'antimonio in polvere, gettati in una bottiglia piena di cloro, si combinano con questo gas con vivo svolgimento di luce e di calore.

Quasi tutti i combustibili abbruciano con fiamma. Una *fiamma* è un gas od un vapore portato ad un'alta temperatura per effetto della combustione. Il potere rischiarante di una fiamma varia col variare dei prodotti che si formano durante la combustione. La presenza di un corpo solido in una fiamma ne aumenta il potere rischiarante. Le fiamme dell'idrogeno, dell'ossido di carbonio, dell'alcoole sono pallide, perchè contengono soltanto dei prodotti gasosi. Ma le fiamme delle candele, delle lampade, del gas illuminante hanno un grande potere rischiarante perchè contengono un eccesso di carbonio, il quale, sfuggendo alla combustione, diventa incandescente nella fiamma. Si aumenta notabilmente l'intensità di una fiamma, collocandovi entro dei fili di platino o dell'amianto. Devesi notare che la temperatura di una fiamma non è in rapporto col suo potere rischiarante. La fiamma dell'idrogeno, che è la più pallida, è quella che sviluppa maggior calore.

394. **Calore sviluppato durante la combustione.** — Molti fisici, e particolarmente Lavoisier, Rumford,

Dulong, Despretz, Hess, Fabre e Silbermann, si occuparono nel ricercare la quantità di calorico sviluppata dai differenti corpi durante la combustione e le altre combinazioni.

Per eseguire questi esperimenti, Lavoisier adoperò il calorimetro di ghiaccio descritto più sopra (334); Rumford usò di un calorimetro che porta il di lui nome, e che consiste in una vasca parallelepipeda di ottone, piena di acqua. In questa vasca trovasi un serpentino, il quale ne attraversa il fondo e finisce al basso in forma d'imbuto rovesciato. Sotto questo imbuto si fa bruciare il corpo sul quale si vuole sperimentare. I prodotti della combustione, attraversando il serpentino, riscaldano l'acqua della vasca, e dall'innalzamento della temperatura si deduce poi la misura del calorico sviluppato. Despretz e Dulong modificarono in appresso il calorimetro di Rumford facendo abbruciare i corpi, non più al di sotto della cassa che contiene l'acqua, ma in una camera di combustione collocata in seno alla stessa massa liquida. L'ossigeno necessario per la combustione vi giungeva per mezzo di un tubo dalla parte inferiore della camera, e i prodotti della combustione escivano per un altro tubo, il quale aprivasi nella camera superiore e s'avvolgeva in forma di serpentino entro la massa del liquido che doveva essere scaldata. Finalmente, Fabre e Silbermann apportarono al calorimetro degli ingegnosi perfezionamenti mercè de' quali sono possibilmente evitate le cause d'errore, e si può valutare, non solo la quantità di calorico sviluppata nelle combustioni, ma anche quella che viene fornita dalle altre combinazioni chimiche.

Assumendo sempre per unità la quantità di calorico che innalzerebbe di 1° la temperatura di 1 chilogrammo di acqua, cioè la *caloria*, Dulong ha trovato che un chilogrammo delle seguenti sostanze sviluppa, nell'abbruciare, i numeri di calorie esposti nella seguente tavola:

Idrogeno	34600	Carbon fossile, in media .	7600
Idrogeno protocarbonato . .	13205	Carbonio puro	7295
» bicarbonato . . .	12032	Alcoole a 42° di Baumé .	6855
Essenza di trementina . . .	10836	Legno assai secco . . .	3652
Olio di ulive	9862	Solfo	2601
Etere solforico	9430	Ossido di carbonio . . .	2488

I numeri trovati anteriormente da altri fisici differivano talvolta d'assai da quelli ottenuti da Dulong, specialmente pel carbonio, ma ora la concordanza quasi per-

fetta tra i risultati ottenuti da Fabre e Silbermann e quelli di Dulong mostrano l'esattezza dei numeri dati da quest'ultimo fisico.

Gli esperimenti di Dulong, e di Despretz e di Hess dimostrano che un corpo, nell'abbruciare, produce sempre la stessa quantità di calore per giungere allo stesso grado di ossidazione, sia che vi arrivi immediatamente, oppure soltanto progressivamente. Per esempio, un grammo di carbonio, che si trasforma direttamente in acido carbonico, sviluppa la stessa quantità di calorico che avrebbe prodotta trasformandosi dapprima in ossido di carbonio e successivamente in acido carbonico.

RISCALDAMENTO (*Chauffage*).

395. **Differenti modi di riscaldamento**. — Il *riscaldamento* è un arte che ha per iscopo di approffittare, nell'economia domestica e nell'industria, delle sorgenti di calore che ci offre la natura.

La sorgente di calore comunemente usata fino al presente è la combustione del legno, del carbone, del litantrace, del coke, della torba e dell'antracite.

Avuto riguardo agli apparati che servono alla combustione, si possono distinguere quattro processi di riscaldamento: 1.º il riscaldamento diretto per irradiazione del calorico, come nei camini e nelle stufe; 2.º il riscaldamento per mezzo dell'aria calda; 3.º il riscaldamento per mezzo del vapore; 4.º il riscaldamento per circolazione dell'acqua calda. Faremo conoscere brevemente, l'uno dopo l'altro, questi quattro processi.

396. **Camini**. — I *camini* sono focolari aperti, applicati ad un muro e sormontati da una canna o *gola*, a traverso della quale sfuggono i prodotti aeriformi della combustione. L'invenzione dei camini sembra rimontare sino al primo secolo dell'era cristiana. In tempi più remoti il focolare era collocato nel mezzo dell'ambiente che si voleva riscaldare, ed il fumo sfuggiva da una apertura praticata nel tetto. Epperò Vitruvio consigliava di non adornare gli appartamenti d'inverno di opere sontuose, le quali sarebbero state danneggiate dal fumo e dalla fuliggine.

I primi camini, sebbene applicati contro i muri, non erano circondati da stipiti, ma soltanto sormontati da una capanna che guidava il fumo al di fuori. Soltanto nei tempi moderni venne data ai camini la forma che hanno

oggidì. Tra i fisici che li hanno successivamente perfezionati meritano speciale menzione Filiberto de l'Orme, Gauger, Franklin e Rumford.

I camini, per quanto la loro costruzione sia stata perfezionata, sono ancora il mezzo di riscaldamento più imperfetto e più dispendioso, perchè non utilizzano che una piccola quantità del calorico sviluppato dal combustibile; di fatti, colla legna ne utilizzano soltanto il 6 per cento all'incirca, ed il 13 per cento col coke e col carbon fossile. Questa enorme perdita di calorico è cagionata dalla corrente di aria che alimenta la combustione, e che, versandosi nell'atmosfera, vi diffonde una gran parte del calore prodotto. Per ciò Franklin diceva che volendo ottenere il minore riscaldamento con una data quantità di combustibile bisognava adottare i camini. Nonpertanto, i camini sono e saranno sempre il mezzo di riscaldamento più gradito e più salubre per la presenza del fuoco, e perchè producono un continuo rinnovamento dell'aria negli appartamenti.

397. **Aspirazione dei camini.** — Chiamasi *aspirazione* di un camino una corrente dal basso all'alto che si stabilisce nella sua gola, in causa dell'ascesa dei prodotti della combustione; quando la corrente è rapida e continua si dice che l'aspirazione è buona.

Fig. 251.

L'aspirazione è prodotta dalla differenza di temperatura all'interno della gola e al di fuori; e siccome le sostanze gasose che riempiono la gola, in causa di questa differenza, sono meno dense dell'aria dell'appartamento, l'equilibrio è impossibile (159). Di fatti, essendo il peso della colonna gasosa CD (fig. 251), nella gola, minore di quello della colonna d'aria esterna della medesima altezza, ne risulta, dall'infuori all'indentro del camino, un eccesso di pressione che spinge entro la gola i prodotti della combustione tanto più rapidamente quanto è maggiore la differenza di peso fra le due masse gasose.

Per mezzo del seguente esperimento, si possono assai facilmente verificare le correnti prodotte nei gas dalle differenze di temperatura. Aprendo una porta che mette in comunicazione due camere, delle quali una sola sia riscaldata, indi collocando verso la parte superiore della porta stessa una candela accesa, si vede che la fiamma si dirige dalla camera calda alla camera fredda; invece, ponendo la candela vicino al suolo si vede che la fiamma si dirige dalla camera fredda verso la camera calda. Questi due effetti sono prodotti da una corrente di aria che sfugge dalla parte superiore della porta, e da una corrente di aria fredda che si sostituisce alla prima, entrando per la parte inferiore.

Per avere una buona aspirazione in un camino si devono verificare le seguenti condizioni:

1.ª L'ampiezza della sezione della gola non deve superare quella che è necessaria per l'efflusso dei prodotti della combustione; ove questa sezione sia troppo grande, si stabiliscono contemporaneamente delle correnti ascendenti e delle correnti discendenti, ed il camino fa fumo. Alla sommità della gola conviene collocare un tubo conico più stretto, onde il fumo esca con una velocità che basti per resistere all'azione del vento.

2.ª La gola del camino deve essere sufficientemente elevata, perchè, siccome l'aspirazione è prodotta dall'eccesso della pressione esterna sulla pressione interna, questo eccesso sarà tanto maggiore quanto più alta è la colonna d'aria scaldata.

3.ª L'aria esterna deve penetrare nell'appartamento in cui trovasi il camino con una rapidita che corrisponda alla chiamata del focolare. In un appartamento affatto chiuso il fuoco non si potrebbe mantenere acceso, o si stabilirebbero delle correnti d'aria discendenti che spingerebbero il fumo nell'appartamento. D'ordinario, l'aria rientra in quantità sufficiente dalle fessure delle porte e delle finestre

4.ª Si deve evitare di far comunicare fra loro due gole di camino, perchè, se l'aspirazione di uno di essi è più attiva di quella dell'altro, si produce in quest'ultimo una corrente d'aria discendente che respinge il fumo nell'appartamento.

398. **Stufe.** — Le stufe sono apparecchi di riscaldamento a focolare chiuso collocate entro la massa d'aria che si vuol riscaldare, in modo che il calorico viene ir-

radiato in tutte le direzioni. Alla parte inferiore trovasi l'apertura per cui ha accesso l'aria che deve alimentare la combustione; i prodotti poi della combustione sfuggono dalla parte superiore per mezzo di tubi più o meno lunghi. Siccome questi prodotti escono dall'apparecchio già molto raffreddati, si utilizza quasi tutto il calore sviluppato, epperò questo modo di riscaldamento è il più economico; ma è molto meno salubre di quello che si ottiene coi camini, perchè produce soltanto una ventilazione assai scarsa, o non ne produce affatto quando vi si fa arrivar l'aria dall'esterno come si pratica nelle stufe svedesi. Inoltre le stufe hanno l'inconveniente di spandere un odore disaggradevole e nocivo, specialmente se sono costrutte di ghisa o di lamiera di ferro, il quale effetto proviene probabilmente dalla decomposizione di sostanze organiche diffuse nell'aria e che vengono a contatto colle pareti calde delle stufe.

Colle stufe di metallo annerito, le quali hanno un grande potere emissivo, il riscaldamento è più rapido, ma queste stufe si raffreddano anche ben presto. Le stufe di terra bianca e levigate, il cui potere emissivo è minore, riscaldano più lentamente, ma il loro effetto è più durevole e gradito.

399. **Riscaldamento per mezzo del vapore.** — Si è approfittato della proprietà che hanno i vapori di restituire, nel condensarsi, il loro calorico di vaporizzazione, per il riscaldamento dei bagni, dei laboratorii, dei pubblici edificii, delle serre, delle stufe. Perciò si fa produrre il vapore in caldaje analoghe a quella che fu descritta all'articolo *Generatore del vapore* (fig. 243), indi, lo si fa circolare entro tubi collocati nei luoghi che si vogliono riscaldare. Il vapore si condensa in questi tubi e cede ad essi tutto il suo calorico latente, il quale diventa libero durante la condensazione. Questo calorico si trasmette poi all'aria esterna od al liquido nel quale sono immersi i tubi conduttori del vapore.

400. **Riscaldamento per mezzo dell'aria calda.** — Il riscaldamento per mezzo dell'aria calda consiste nello scaldar l'aria alla parte inferiore di un edificio e nel lasciare che, in virtù della sua minor densità, essa ascenda fino ai piani superiori entro condotti collocati nei muri. L'apparato viene disposto come dimostra la figura 252. Un fornello F collocato nelle cantine contiene un sistema di tubi posti l'uno accanto all'altro, dei quali uno solo è

visibile nella figura. L'aria esterna penetra per l'apertura A nel tubo, dove si scalda e, sollevandosi nella direzione delle freccie, entra nell'ambiente M per l'apertura superiore B, che chiamasi *bocca di calore*. Nei differenti piani ogni camera ha una o parecchie consimili bocche di calore, le quali sono praticate vicino al pavimento, perchè l'aria calda tende sempre ad innalzarsi.

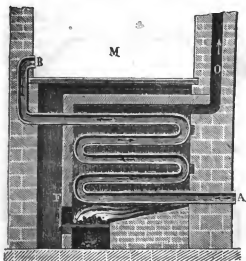



Fig. 252.

Il condotto O è una gola da camino ordinaria, a traverso la quale sfuggono i prodotti della combustione che si formano nel fornello.

Questi apparati, distinti col nome di *caloriferi,* sono molto più economici dei camini, ma non possono al pari di questi produrre un abbastanza rapido rinnovamento dell'aria degli appartamenti, e per conseguenza sono meno salubri.

401. **Riscaldamento per circolazione d'acqua calda.** — Il riscaldamento per circolazione d'acqua calda si ottiene per mezzo di un movimento circolatorio continuo di acqua, la quale, dopo di essersi riscaldata in una caldaja, si innalza in una serie di tubi, indi, dopo di essersi raffreddata, ritorna alla caldaja per un'altra serie di tubi simili ai primi.

Il primo apparecchio opportuno a questo genere di ri-

scaldamento fu inventato da Bonnemain, in Francia, verso la fine del secolo scorso; Leone Duvoir diede a questi apparati la forma che hanno oggidì. La fig. 253 rappresenta la disposizione adottata da questo ingegnere per riscaldare un edifizio di parecchi piani. L'apparecchio di riscaldamento, che è collocato nelle cantine, consiste in una caldaja *o o*, in forma di campana ed a focolare in-

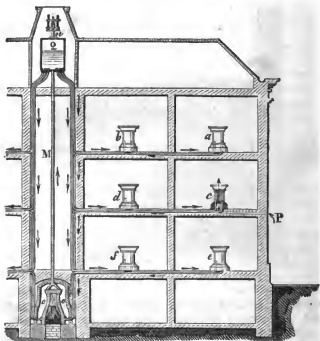



Fig. 253.

terno F. Alla parte superiore di questa caldaja è fissato un lungo tubo M, il quale comunica con un serbatojo Q collocato nella parte più alta dell'edifizio che si vuole scaldare. Sopra questo serbatojo trovasi una tubulatura *n* chiusa da una valvola, che si carica più o meno per limitare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato.

Quando la caldaja, il tubo M ed una parte del serbatojo Q siano pieni di acqua, di mano in mano che questo liquido si scalda, nella caldaja si produce una corrente di acqua calda, che ascende pel tubo M fino al serbatojo Q;

mentre nello stesso tempo si formano correnti di acqua meno calda e più densa, le quali partono dal fondo del serbatojo Q e vanno, per mezzo di tubi, nei recipienti *b*, *d*, *f* pieni di acqua. Da questi ultimi partono altri tubi, per mezzo dei quali continua la corrente discendente fino ad altri recipienti *a*, *c*, *e*, e, finalmente, da questi ultimi, mediante tubi di ritorno, l'acqua arriva alla parte inferiore della caldaja.

Durante questo tragitto l'acqua si raffredda gradatamente cedendo il suo calorico sensibile ai tubi ed ai recipienti, onde questi si riscaldano e diventano vere stufe ad acqua.

Si può facilmente determinare quante di queste stufe e di quali dimensioni si richiedano per riscaldare uno spazio dato, fondandosi sul principio dato dall'esperienza e dalla teoria che un litro d'acqua basta per riscaldare a sufficienza 3200 litri d'aria. Due di queste stufe bastano, durante l'inverno, a mantenere alla temperatura di 15 gradi 600 o 700 metri cubi d'aria.

Nell'interno di questi recipienti si trovano dei tubi di ghisa pieni d'aria guidata dall'esterno per mezzo di tubi P situati sotto il pavimento. Quest'aria si scalda nei tubi, indi esce dalla parte superiore dei recipienti.

Il principale vantaggio di questo modo di riscaldamento è di dare una temperatura sensibilmente costante per un tempo lunghissimo, perchè l'acqua contenuta nei recipienti e nei tubi non si raffredda che con lentezza. Epperò è usitatissimo per le serre, per l'incubazione artificiale e, in generale, in tutti i casi in cui si desideri uniformità di temperatura.

SORGENTI DI FREDDO.

402. **Diverse sorgenti di freddo.** — Le cause di freddo sono il passaggio dallo stato solido allo stato liquido proveniente da azioni chimiche, l'evaporazione, la dilatazione dei gas, l'irradiazione in generale e specialmente l'irradiazione notturna. Avendo già esposte le prime due di queste cause (277 e 305), qui parleremo soltanto delle altre.

403. **Freddo prodotto dalla dilatazione dei gas.** — Abbiamo veduto (389) che la temperatura dei gas sottoposti alla compressione si eleva, perchè diventa libera una parte del calorico latente. La rarefazione di un gas è invece accompagnata da un abbassamento di tempera-

tura, perchè una certa quantità di calorico libero diventa latente. Per dimostrare questo fatto, si colloca il termometro di Bréguet (246) sotto il recipiente della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; ad ogni colpo di stantuffo, l'indice si avanza verso lo zero, indi se ne allontana appena che cessa di progredire la rarefazione.

Si è trovato che, in generale, il freddo prodotto dalla dilatazione di un gas è minore del calore prodotto dalla sua compressione. Ciò avviene perchè la quantità di calorico ceduto, nel primo caso, dalle pareti del corpo di tromba, è maggiore di quella che assorbiscono nel secondo, essendochè lo stantuffo, ritraendosi, permette al gas di venire in contatto con una più ampia superficie.

404. **Freddo prodotto dall' irradiazione notturna**. — Di giorno la superficie del suolo riceve dal sole una quantità di calorico maggiore di quella che emette verso gli spazii celesti, e la sua temperatura s'innalza; di notte accade l' opposto. Il calorico che la terra perde per irradiazione non è allora compensato, e ne risulta un abbassamento di temperatura tanto più considerabile quanto più il cielo è sereno; perchè, quando è coperto da nubi, queste, come altrettanti specchi, rimandano verso la terra il calorico raggiante. Infatti, si osserva che in alcune invernate i fiumi non gelano, quantunque il termometro sia pel corso di parecchi giorni al di sotto di — 4.°, quando però il cielo sia coperto di nubi; mentre in altre invernate meno rigide i fiumi si agghiacciano se il cielo è sereno. Anche il potere emissivo (362) ha una grande influenza sul raffreddamento prodotto dall' irradiazione notturna, poichè il raffreddamento del suolo è tanto più notabile quanto maggiore è il suo potere emissivo.

Vedremo più innanzi, nella Meteorologia, che il fenomeno della rugiada è prodotto dall' irridiazione notturna.

Nel Bengala si approfitta del raffreddamento notturno per ottenere artificialmente il ghiaccio. Perciò nelle notti serene si espongono all'aperto dei vasi ampii e bassi pieni d'acqua, collocandoli sopra sostanze poco conduttive, come paglia o foglie secche. Questi vasi, per effetto dell'irradiazione notturna, si raffreddano al punto che l'acqua vi gela sebbene l'aria sia a 10.° sopra lo zero. Il medesimo processo potrebbe evidentemente seguirsi dovunque quando il cielo sia sereno.

LIBRO VII

DELLA LUCE.

CAPITOLO I.

PROPAGAZIONE, VELOCITA' ED INTENSITA' DELLA LUCE.

405. **Luce, ipotesi sulla sua natura.** — La luce è l' agente che produce in noi, mediante la sua azione sulla retina, il fenomeno della visione. La parte della fisica che ci fa conoscere i fenomeni della visione si chiama *ottica.*

Per ispiegare l'origine della luce si adottarono le stesse ipotesi abbracciate dai fisici per il calorico; cioè l'ipotesi dell'*emissione* e quella delle *ondulazioni.* Nella prima, sostenuta da Newton, si ammette che i corpi luminosi emettono in tutte le direzioni delle molecole tenuissime di una sostanza imponderabile propagantesi in linea retta con una velocità quasi infinita. Queste molecole, penetrando nell'occhio, reagiscono sulla retina e determinano la sensazione che costituisce la visione.

Nell' ipotesi delle ondulazioni, sostenuta da Grimaldi, Huyghens, Descartes, Young, Malus e Fresnel, si ammette che le molecole dei corpi luminosi siano animate da un movimento vibratorio rapidissimo, che si comunica ad un fluido eminentemente sottile ed elastico, diffuso in tutto l'universo ed a cui si dà il nome di *etere;* e che uno scuotimento in un punto qualunque dell' etere si propaghi in tutte le direzioni sotto la forma di onde sferiche luminose, analoghe alle onde sonore che propagano il suono nell'aria. Però si ammette che le ondulazioni dell' etere si producôno, non perpendicolarmente alla superficie del-

l'onda luminosa, come nella propagazione del suono, ma in questa stessa superficie, cioè perpendicolarmente alla direzione che la luce segue nel propagarsi; il che si esprime dicendo che le vibrazioni sono *trasversali*. Si può acquistare un'idea di queste vibrazioni scuotendo una corda per uno de' suoi capi; il movimento si propaga serpeggiando sino all'altro capo, epperò la propagazione avviene nel verso della lunghezza della corda, ma le vibrazioni si compiono in una direzione trasversale.

Nel sistema delle ondulazioni Fresnel giunse a dare una compiuta spiegazione di parecchi fenomeni luminosi, come sarebbero quelli della *diffrazione* e degli *anelli colorati*, dei quali non si poteva rendere conto nel sistema dell'emissione. Per ciò, dopo i lavori di Fresnel, la teoria delle ondulazioni fu generalmente adottata.

406. **Corpi luminosi, diafani, pellucidi, opachi.** — Chiamansi *corpi luminosi* quelli che emettono luce, come il sole ed i corpi ignescenti. Ci sono visibili non solo i soli corpi luminosi, ma anche i non luminosi quando però si trovino *illuminati*, cioè quando da una sorgente qualunque ricevano luce, la quale, respinta in seguito in tutte le direzioni da questi corpi, come vedremo dove si tratta della *riflessione* (415), è quella che ce li rendi visibili. In questo modo ci è dato scorgere tutti i corpi non luminosi situati al di sopra del nostro orizzonte visuale, ma nella oscurità essi cessano di essere visibili, mentre lo sono sempre i corpi luminosi per sè stessi. *Corpi diafani* o *trasparenti* si dicono quelli che offrono un facile passaggio alla luce ed a traverso dei quali si distinguono gli oggetti; tali sono a cagione d'esempio, l'acqua, i gas, il vetro liscio. *Corpi pellucidi* sono quelli che si lasciano attraversare dalla luce, senza però che si possa riconoscere la forma degli oggetti collocati dietro di essi; sono corpi pellucidi il vetro smerigliato, la carta unta d'olio. Si chiamano finalmente *corpi opachi* quelli che impediscono il passaggio della luce, come sarebbero i legni, i metalli. Tuttavia non havvi alcun corpo che sia affatto opaco: sono tutti più o meno pellucidi quando trovinsi ridotti in lamine abbastanza sottili.

407. **Raggio o fascio luminoso**. — Chiamasi *raggio luminoso* la linea che segue la luce nel propagarsi, e *fascio luminoso* un insieme di raggi partiti da una stessa sorgente. Dicesi *parallelo* quel fascio luminoso che è composto di raggi paralleli; *divergente* quello i cui raggi si

allontanano gli uni dagli altri, e *convergente* quello che risulta di raggi concorrenti verso uno stesso punto. Ogni corpo luminoso emette da tutti i suoi punti ed in tutte le direzioni dei raggi rettilinei divergenti. Un fascio assai ristretto si distingue talvolta col nome di *pennello*.

408. **Propagazione della luce in un mezzo omogeneo.** — Chiamasi *mezzo* lo spazio pieno o vuoto nel quale si produce un fenomeno. L'aria, l'acqua, il vetro sono mezzi nei quali la luce si propaga. Dicesi *omogeneo* quel mezzo che ha in tutte le sue parti la stessa composizione chimica e la stessa densità.

Ciò posto, *in qualsiasi mezzo omogeneo la luce si propaga in linea retta*. Di fatti, collocando un corpo opaco sulla linea retta che congiunge l'occhio con un corpo luminoso, la luce è intercetta. Si può anche notare che la luce, la quale penetri in una camera nera, a traverso di una piccola apertura, segna nell'aria una traccia luminosa rettilinea, che diventa visibile perchè vengono rischiarati i leggieri polviscoli nuotanti nell'atmosfera.

Non pertanto la luce cangia di direzione quando incontra un ostacolo nel quale non può penetrare, o quando passa da un mezzo in un altro; questi fenomeni saranno descritti sotto i nomi di *riflessione* e di *rifrazione*.

409. **Ombra, penombra, riflesso.** — L'ombra di un corpo è la parte dello spazio ove esso impedisce alla luce di penetrare. Quando si tratta di determinare l'estensione e la forma dell'ombra proiettata da un corpo si pos-

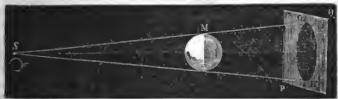



Fig. 254.

sono distinguere due casi; quello in cui la sorgente luminosa è un punto unico, e quello in cui è un corpo di una estensione qualunque.

Nel primo caso, si rappresentino con S (fig. 254) il punto luminoso e con M il corpo che porta ombra, e che supporremo sferico. Se si immagina che una retta indefinita SG si muova all'intorno della sfera M, rimanendo

ad essa tangente e passando costantemente pel punto S, si concepisce che questa retta genera una superficie conica, la quale, al di là della sfera, separa la porzione dello spazio che trovasi in ombra da quella che è rischiarata. Nel caso preso in considerazione, collocando al di là del corpo opaco un diaframma PQ, si vedrebbe sul diaframma l'ombra separata dallo spazio in luce per mezzo di un contorno chiaramente delineato; ma ciò non accade nei casi ordinarii in cui i corpi luminosi hanno sempre una certa estensione.

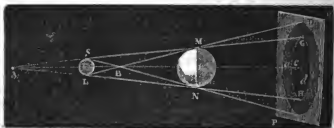



Fig. 255.

Di fatti, per semplificare la dimostrazione, suppongasi che il corpo illuminante ed il corpo illuminato siano due sfere SL ed MN (fig. 255). Se si immagina che una retta indefinita AG si muova tangenzialmente a queste sfere, incontrando costantemente la linea dei centri nel punto A, si concepisce che essa genera una superficie conica avente questo punto per vertice, e dietro la sfera MN uno spazio MGHN affatto privo di luce. Ora, se una seconda retta LD, che tagli la linea dei centri in B, gira ancora tangenzialmente alle due sfere in modo da generare una nuova superficie conica BDC, si riconosce, dietro l'ispezione della figura, che tutto lo spazio esteriore a questa superficie è compiutamente rischiarato, ma che la parte compresa fra le due superficie coniche non è nè affatto priva di luce nè illuminata appieno. Pertanto, se si colloca un diaframma PQ dietro il corpo opaco, la parte *c*G*d*H di questo diaframma trovasi compiutamente nell'ombra; mentre la parte annulare *ab* riceve luce da certi punti del corpo luminoso ma non ne riceve da tutti. Questa parte del diaframma è quindi più rischiarata dell'ombra propriamente detta, ma meno del resto del diaframma, ossia trovasi nella *penombra*.

Le ombre che abbiamo costrutte sono le *ombre geometriche;* ma le *ombre fisiche*, cioè quelle che realmente si osservano, non sono così rigorosamente limitate. Di fatti si riconosce che una certa quantità di luce passa nell'ombra, e che reciprocamente si trova dell'ombra nella parte rischiarata. Questo fenomeno, che descriveremo più innanzi, è conosciuto sotto il nome di *diffrazione* (532).

Quella parte della superficie di un corpo opaco la quale non riceve la luce, mentre la restante è illuminata, non si trova in una perfetta oscurità, ma è più o meno rischiarata dalla luce rimandata dai corpi vicini. L'effetto di questo riverbero chiamasi *riflesso*. Ora, siccome la luce riflessa da un corpo colorato partecipa, in generale, del colore proprio di questo corpo, ne risulta che i riflessi medesimi assumono la tinta degli oggetti circostanti. I pittori nei loro quadri, i tapezzieri nella scelta delle tappezzerie, le donne in quella dei loro abbigliamenti, approffitano artificiosamente degli effetti di luce prodotti dai riflessi.

410. **Immagini prodotte da piccole aperture.** — Ricevendo su di un diaframma bianco i raggi luminosi che penetrano in una camera oscura *a traverso di una piccola apertura*, si ottengono delle immagini degli oggetti esterni, le quali presentano i fenomeni seguenti: 1.° *esse sono capovolte; 2.° la loro forma, la quale è costantemente quella degli oggetti esterni, è indipendentemente dalla forma dell'apertura.*

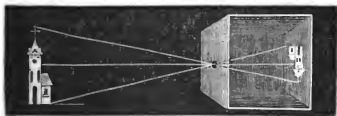



Fig. 256.

Il rovesciamento degli immagini risulta da ciò che i raggi luminosi provenienti dagli oggetti esterni, e penetranti nella camera oscura, si incrociano passando a traverso dell'apertura, come dimostra la figura 256. Continuando a propagarsi in linea retta, i raggi partiti dai più elevati incontrano il diaframma in basso, e, recipro-

camente, quelli che partono dai punti inferiori incontrano il diaframma in alto, d'onde il rovesciamento dell'immagine. All'articolo *camera oscura* (483) si vedrà come si aumenti il lume e la chiarezza delle immagini per mezzo di vetri convergenti, e con quali processi esse possano essere raddrizzate.

Per mostrare come la forma dell'immagine non dipenda da quella dell'apertura, quando questa sia abbastanza piccola e il diaframma si trovi a sufficiente distanza, si immagini una apertura triangolare O (fig. 257) praticata in una delle pareti della camera oscura, ed un diaframma

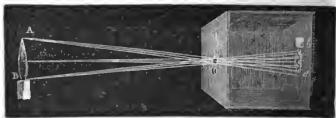



Fig. 257.

ab sul quale si riceve l'immagine di una fiamma AB collocata all'esterno. Da ogni punto della fiamma penetra nella camera oscura un fascio divergente, che forma sul diaframma *ab* una immagine triangolare simile all'apertura, come mostra la figura. Ora, dalla riunione di tutte queste immagini parziali risulta una immagine totale, che ha la stessa forma dell'oggetto rischiarante. Di fatti, se si immagina che una retta indefinita si muova nell'apertura della camera oscura, supposta piccolissima, rimanendo sempre tangente all'oggetto luminoso AB, si può ammettere che nel suo movimento la retta descrive due coni opposti aventi per vertice l'apertura della camera oscura, e, per base, uno il corpo luminoso e l'altro la parte rischiarata del diaframma *ab*, cioè l'immagine. Quindi, se il diaframma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo, ma se il diaframma è obliquo, l'immagine è allungata nel verso dell'obliquità. Ciò si osserva, per esempio, nell'ombra prodotta dalle foglie degli alberi: i fasci luminosi che passano tra le foglie presentano delle immagini del sole rotonde od elittiche, a norma che il terreno sul quale si proiettano è perpendicolare od obliquo all'asse

del cono de' raggi solari, qualunque sia poi la forma degli intervalli esistenti tra le foglie a traverso dei quali passa la luce.

411. **Velocità della luce.** — La luce si propaga con tale velocità che alla superficie della terra, qualunque sia la distanza, non si può constatare alcun intervallo sensibile fra l'istante in cui un fenomeno luminoso si produce e quello in cui l'occhio ne riceve l'impressione. Epperò questa velocità è stata dapprima determinata col mezzo di osservazioni astronomiche. L'astronomo svedese Rœmer dedusse pel primo, nel 1675, la velocità della luce dall'osservazione degli eclissi di uno dei satelliti di Giove.

Si sa che Giove è un pianeta intorno al quale girano

Fig. 358.

rapidamente quattro satelliti, come la luna gira intorno alla terra. Il suo primo satellite L (fig. 358) si occulta, cioè entra nell'ombra proiettata da Giove, J, ad intervalli di tempo eguali, che sono di 42 ore 28′ 36″. Fintanto che la terra T si trova nella parte *ab* della sua orbita, cioè sensibilmente alla stessa distanza da Giove, si riconosce che gli intervalli fra due immersioni consecutive rimangono costanti, ma, di mano in mano che se ne allontana, girando intorno al sole, S, cresce l'intervallo tra due immersioni (*), e, quando la terra, a capo di sei mesi, è passata dalla posizione T alla posizione *t*, si osserva un ritardo

(*) Tra due immersioni prossime consecutive non cresce che di pochissimo l'intervallo, il quale rimane ancora sensibilmente di 42 ore 28′ 36″, ma si osserva un notabile ritardo nella immersione comparativamente all'epoca che si sarebbe calcolata dietro il numero di immersioni avvenute dal tempo in cui la terra trovavasi in T. (*Nota del Trad.*).

totale di 16′ 36″ comparativamente all'istante dedotto col calcolo dal numero di immersioni realmente accadute. Ora, quando la terra si trovava nella posizione T, la luce solare riflessa dal satellite L dovea percorrere, per giungere sino ad essa, la distanza LT; mentre, nella seconda posizione *t*, la luce deve percorrere la distanza L*t*, la quale supera la prima della quantità T*t*. Adunque la luce impiega 16′ 36″ a percorrere il diametro T*t* dell'orbita terrestre, cioè il doppio della distanza fra la terra ed il sole; epperò ha una velocità di circa 77000 leghe di 4000 metri per secondo. In questa osservazione non si tiene calcolo del movimento di Giove, perchè, siccome questo pianeta impiega circa 12 anni a percorrere la sua traiettoria intorno al sole, ne percorre soltanto $^1/_{24}$ in 6 mesi onde si può approssimativamente supporlo immobile.

Le stelle più vicine alla terra ne sono per lo meno distanti 206265 volte più del sole. Perciò la luce che esse ci mandano impiega più di 3 anni ed $^1/_4$ per giungere sino a noi. Le stelle che sono visibili soltanto per mezzo del telescopio trovansi ad una tale distanza dalla terra, che abbisognano migliaia d'anni perchè la loro luce arrivi sino al nostro sistema planetario. Epperò, noi continueremmo a contemplarle e studiarne i moti ancorchè avessero cessato già da secoli di essere luminose.

412. Apparato di Foucault per misurare la velocità della luce. — Quantunque la velocità della luce sia prodigiosa, Foucault giunse a misurarla sperimentalmente con un ingegnoso apparecchio fondato sull'uso dello specchio girante già adottato da Wheatstone per misurare la velocità della elettricità. Innanzi di descrivere quest'apparato, avvertiamo il lettore che, per intendere quanto segue, bisogna conoscere le proprietà degli specchi e delle lenti che verranno esposte ai paragrafi 427 e 455. La figura 259 rappresenta in pianta la disposizione generale dell'apparato di Foucault. Nella parete K di una camera oscura è praticata una apertura quadrata, dietro la quale trovasi un sottil filo di platino o teso verticalmente. Un fascio di luce solare, riflesso esteriormente su di uno specchio, penetra nella camera oscura a traverso dell'apertura quadrata, incontra il filo di platino e di là si dirige su di una lente acromatica L a lungo fuoco, situata ad una distanza dal filo di platino minore del doppio della distanza focale principale. L'immagine del filo di platino tende allora a formarsi nell'asse della lente con dimensioni più o meno amplificate. Ma il fascio luminoso, dopo di avere attraversata la lente, incontra uno specchio piano *m*, che gira con una grande velocità, e, riflettendosi su di esso, va a formare nello spazio una immagine del filo di platino, la quale si sposta con una velocità angolare doppia di

quello dallo specchio (*). Questa immagine incontra uno specchio M concavo e fisso, il cui centro di curvatura è nell' asse di rotazione dello specchio girante m e coincide col centro di figura di quest' ultimo. Il fascio riflesso sullo specchio M ritorna sopra sè stesso, si riflette di nuovo sullo specchio m, attraversa una seconda volta la lente e produce un' immagine del filo di platino sopra questo filo medesimo fintanto che lo specchio m gira lentamente.

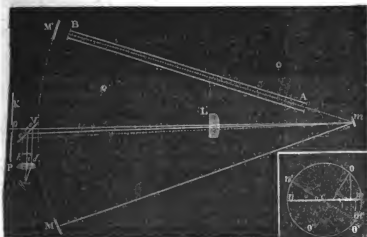



Fig. 259. *Fig.* 260.

Per ricevere questa immagine senza intercettare il fascio che entra per l'apertura K, si colloca fra la lente ed il filo di platino una lastra di vetro, V, a facce parallele, inclinandola in modo che i raggi riflessi vadano a cadere su di un potente oculare P.

Ciò posto, quando lo specchio m è in quiete o gira con piccola velocità, il raggio *retrocedente* Mm incontra lo specchio m nella stessa posizione in cui trovasi dopo la prima riflessione; quindi riprende la stessa direzione che aveva già seguita, incontra in a lo specchio V, vi si riflette parzialmente e forma in d, ad una distanza ad, eguale ad ao, l'immagine che l'occhio guarda coll'oculare P. Lo specchio m, girando, fa ricomparire questa immagine ad ogni rivoluzione, e, se la sua velocità di rotazione è

(*) Per dimostrarlo, si rappresenti con mn (fig. 260) lo specchio girante, con O un oggetto fisso situato davanti al medesimo e la cui immagine si produce in O'. Quando lo specchio arriva nella posizione $m'n'$, l'immagine si produce in O''. Ora, i due angoli O'OO'' e mcm' sono eguali perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari, ma l'angolo inscritto O'OO'' ha per misura soltanto la metà dell'arco O'O'', mentre l'angolo al centro mcm' ha per misura l'intero arco mm'. Quindi l'arco O'O'' è doppio di mm'; il che dimostra la velocità angolare dell'immagine essere doppia di quella dello specchio.

uniforme, l'immagine resta immobile nello spazio. Quando la velocità non sorpassi quella di 30 giri per minuto secondo, le apparizioni successive sono distinte, ma oltre 30 giri le impressioni nell'occhio persistono e l'immagine apparisce assolutamente continua.

Finalmente lo specchio m, allorchè gira con velocità, bastante, cambia sensibilmente di posizione nel tempo che la luce impiega a percorrere la doppia via da m ad M e da M ad m; allora il raggio retrocedente, in seguito alla sua riflessione sullo specchio m, assume la direzione mb e forma la propria immagine in i, cioè l'immagine subisce una deviazione totale di. Rigorosamente parlando, la deviazione avviene anche quando lo specchio gira lentamente, ma essa non è valutabile se non quando assume una certa grandezza, al quale effetto si richiede che la velocità di rotazione sia alquanto considerabile o che la distanza Mm sia di una certa grandezza; perchè la deviazione cresce necessariamente come il tempo che la luce impiega a retrocedere.

Nell'esperimento di Foucault, la distanza mM era soltanto di 4 metri, nel qual caso, dando allo specchio una velocità di 600 ad 800 giri per ogni minuto secondo, si ottengono delle deviazioni di 2 a 3 decimi di millimetro.

Facendo Mm $= l$, Lm $= l'$ oL $= r$, e rappresentando con n il numero dei giri per ogni minuto secondo, con δ la deviazione assoluta di e con V la velocità della luce, Foucault fu condotto alla formola:

$$V = \frac{8 \pi l^2 n r}{\delta (l + l')}.$$

Coll'apparato di Foucault si può esperimentare sui liquidi. Per ciò, si colloca tra lo specchio girante m ed uno specchio concavo M', identico allo specchio M, un tubo AB lungo 3 metri e pieno di acqua distillata. I raggi luminosi, riflessi dallo specchio girante nella direzione mM', attraversano due volte la colonna d'acqua AB innanzi di ritornare sullo specchio V. Ora, il raggio retrocedente si riflette in c e produce la immagine in h; quindi la deviazione è maggiore pei raggi che passarono a traverso dell'acqua di quello sia pei raggi che si propagarono soltanto nell'aria, il che indica essere la velocità della luce minore nell'acqua che nell'aria.

Questa conseguenza è la parte più importante dell'esperimento di Foucault. Infatti, avendo la teoria dimostrato che nel sistema delle ondulazioni la velocità della luce è minore nel mezzo più rifrangente, mentre il contrario avverrebbe secondo il sistema della emissione, il risultato ottenuto da Foucault indica che deve essere adottato esclusivamente il sistema delle ondulazioni.

Il meccanismo di cui si serve Foucault, per imprimere allo specchio girante una grande velocità, consiste in una piccola turbina a vapore la quale ha qualche somiglianza colla sirena, e, come quest'ultima, produce un suono tanto più alto quanto è più rapida la rotazione; dall'altezza del suono fornito dall'apparato si desume appunto la sua velocità di rotazione.

413. Leggi della intensità della luce. — Chiamando *intensità* di luce (*) la quantità di luce che riceve ogni unità di superficie di un corpo illuminato, si trova che questa intensità è sottoposta alle seguenti due leggi:

1.ª *L'intensità della luce, su di una data superficie, è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa.*

2.ª *L'intensità della luce ricevuta obliquamente è proporzionale al seno dell'angolo che fanno i raggi luminosi colla superficie rischiarata.*

Per dimostrare la prima legge, suppongasi di avere due schermi circolari CD ed AB (fig. 261), collocati l'uno ad una certa distanza da un punto luminoso L, l'altro ad una distanza doppia, e si chiamino s ed S le aree dei due circoli. Chiamando K la quantità totale di luce che cade sull'uno o sull'altro dei due circoli, la intensità della il-

Fig. 261.

luminazione sullo schermo CD, cioè la quantità di luce che è ricevuta da ogni unità superficiale del medesimo, sarà $\frac{K}{s}$, e l'intensià dell'illuminazione dello schermo AB sarà $\frac{K}{S}$. Ora, a motivo della somiglianza dei triangoli ALB e CLD, il diametro AB è doppio di CD; perciò, le aree dei due circoli essendo tra loro come i quadrati dei dia-

(*) L'autore parla qui della intensità della luce ricevuta sulle superficie, ossia della intensità della illuminazione, la quale, per una stessa sorgente luminosa, dipende non solo dalla distanza e dalla obliquità della superficie illuminata, ma anche dalla inclinazione dei raggi emessi dalla sorgente, e per sorgenti diverse varia altresì colla intensità propria o facoltà illuminante delle sorgenti medesime. (*Nota dei Trad.*)

metri, l'area S è quadrupla di s. Adunque la intensità $\frac{K}{S}$ è un quarto della $\frac{K}{s}$, come si era enunciato.

Si può dimostrare questa stessa prima legge esperimentalmente per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 263. A questo fine si paragonano le ombre portate sopra un vetro smerigliato da due aste opache, illuminate l'una da una sola fiamma di candela, l'altra da quattro collocate ad una distanza doppia della prima. Si trova allora che le due ombre portate hanno eguali intensità, il che dimostra la legge.

La figura 261 mostra che la intensità dell'illuminazione decresce colla distanza, a motivo della divergenza dei raggi luminosi emessi dalla sorgente. Per raggi luminosi paralleli la intensità rimane costante, almeno nel vuoto, perchè nell'aria e negli altri mezzi trasparenti essa decresce per effetto di assorbimento (471), sebbene il decremento sia molto minore di quello che darebbe la ragione inversa del quadrato delle distanze.

La seconda legge si dimostra col calcolo. Di fatti si rappresenti con DA, EB (fig. 262) un fascio di raggi paralleli che incontri la superficie AC e formi con essa un angolo α, e si chiami S la quantità totale di luce ricevuta da questa superficie. Rappresentando con I l'intensità della luce,

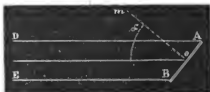



Fig. 262.

cioè la quantità ricevuta dall'unità di superficie, si ha $I = \frac{S}{AC}$ (A); ma, essendo AB la projezione della superficie AC su di un piano perpendicolare alla direzione del fascio, si sa dalla trigonometria che AB = AC sen α, da cui $AC = \frac{AB}{\text{sen}\,\alpha}$.

Sostituendo questo valore nell'eguaglianza (A), risulta $I = \frac{\text{sen}\,\alpha}{AB} S$; il che dimostra la legge, perchè, essendo costante AB ed S, I cresce proporzionalmente a sen α.

La legge del seno è applicabile anche ai raggi emessi obliquamente da una superficie luminosa, vale a dire che i raggi sono tanto meno intensi quanto più sono inclinati rispetto alla superficie che li emette; analogamente alla terza legge del calorico raggiante (352).

414. Fotometri. — Chiamansi *fotometri* gli apparati che servono a paragonare l'intensità relativa di due luci (1). Se ne immaginarono moltissimi, ma tutti lasciano molto a desiderare dal lato della precisione. Noi descriveremo soltanto i fotometri di Rumford, di Foucault, di Govi e di Wheatstone.

Fotometro di Rumford. — Il fotometro di Rumford è composto di un diaframma di vetro smerigliato dinanzi al quale sono fissate due aste opache, A e B, separate da un diaframma (fig. 263). Ad una certa distanza sono col-

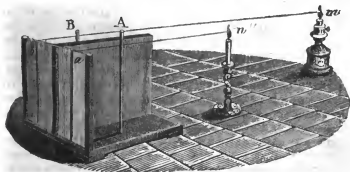



Fig. 263.

locate le luci che si vogliono paragonare, per esempio, quelle di una lucerna e di una candela, in modo che ciascuna di esse projetti sul diaframma un'ombra dell'asta che le corrisponde. Le ombre projettate sono dapprima disegualmente intense: ma, allontanando la lucerna od avvicinandola, si trova una posizione in cui l'intensità delle due ombre *a* e *b* è la stessa, il che indica essere il diaframma egualmente rischiarato dalle due luci. Allora le intensità di queste due luci sono direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze dalle ombre projettate;

(1) Qui l'autore intende per intensità di due luci i poteri illuminanti delle sorgenti di luce, i quali si possono paragonare tra loro col confronto delle intensità di illuminazione corrispondenti, a parità di tutte le altre circostanze. *(Nota del Trad.)*

cioè se la lucerna trovasi lontana, per esempio, 3 volte quanto la candela, essa rischiara 9 volte quanto la candela.

Infatti, siano i ed i' le intensità della lucerna e della candela, all'unità di distanza; d e d' le loro distanze rispettive dalle ombre projettate. Dietro la prima legge della intensità della luce (413), l'intensità della lucerna, alla distanza d, è $\frac{i}{d^2}$ e quella della candela, alla distanza d', è $\frac{i'}{d'^2}$. Ora, sul diaframma queste due intensità sono eguali, dunque si ha l'equazione $\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d'}$ d'onde $\frac{i}{i'} = \frac{d^2}{d'^2}$ il che bisognava dimostrare.

Fotometro di Foucault. — Foucault perfezionò il fotometro di Rumford, osservando non già le ombre portate da un corpo opaco posto fra lo schermo e le luci che si vogliono confrontare, ma le loro vivacità su di uno schermo di carta inamidata, ciascuna metà della quale è rispettivamente rischiarata da una delle due luci; perciò mentre lo schermo di carta forma la parete anteriore di una piccola cassa di legno simile a quello del daguerrotipo, un diaframma opaco, perpendicolare a questo schermo, separa i due fasci projettati dalle luci; di più un rocchetto, che imbocca in un'asta dentata, serve a far avanzare o retrocedere il diaframma, che è mobile, finchè le due parti rischiarate della carta inamidata diventino tangenti nella direzione verticale. Allora più non rimane che allontanare od avvicinare una delle due sorgenti fintanto che le due metà dello schermo, vedute per trasparenza, presentano la stessa vivacità.

Il fotometro di Rumford e tutti gli altri, che sono fondati sul medesimo principio, presentano l'inconveniente che le due luci da confrontare non hanno la stessa tinta; essendo, a cagione d'esempio, una gialla e l'altra azzurrigna, il che rende assai difficile il confronto delle loro intensità. Nondimeno, quando non è molto notabile la differenza delle tinte, Foucault ha osservato che se si fissa lo schermo ammiccando le palpebre, giunge un istante in cui le due metà dello schermo sembrano della stessa tinta.

Fotometro di Govi. — Per correggere questa difficoltà, Govi di Firenze propose recentemente un nuovo fotometro, che denominò *fotometro analizzatore*, e nel quale il confronto non si fa che su raggi della stessa rifrangibilità. Perciò i fasci che vengono delle due luci da confrontare, innanzi di cadere su di una lastra di vetro smerigliato o

su di uno schermo di carta inamidata, attraversano un prisma da cui vengono decomposti; in modo che sullo schermo si formano due spettri di eguale lunghezza e tangenti pei loro margini (461). In seguito, in questi spettri non si confrontano fra loro che le parti della stessa tinta.

Fotometro di Wheatstone. — La parte principale di questo fotometro è una perla di acciajo P (fig. 264) montata sul lembo di un disco di sughero, sostenuto da una ruota *o* che imbocca internamente in una ruota più grande. Quest'ultima è fissata su di una piccola scatola cilindrica, di ottone, che si tiene in una mano mentre coll' altra si fa girare una manovella A, la quale trasmette il movimento ad un asse centrale ed alla ruota *o*. Girando allora que-

Fig. 264.

Fig. 265.

st' ultima secondo il contorno interno della ruota grande, e nello stesso tempo sopra sè stessa, la perla partecipa a questo doppio moto e descrive una curva conformata come le due rappresentate nella figura 265.

Ciò posto, siano date due luci M ed N di cui vogliansi paragonare le intensità. Si colloca fra di esse il fotometro, e lo si fa ruotare rapidamente. I punti brillanti prodotti dalla riflessione delle due luci in due luoghi opposti della superficie della perla producono due striscie luminose disposte come mostra la figura 265. Se una di esse, per esempio quella che proviene dalla luce M, è più intensa dell'altra, si avvicina lo strumento a quest'ultima fino a tanto che le due striscie presentino la medesima vivacità. Allora si misura la distanza che passa tra il fotometro e ciascuna delle due luci; le intensità di queste ultime sono proporzionali ai quadrati delle distanze.

CAPITOLO II.

RIFLESSIONE DELLA LUCE, SPECCHI.

415. Leggi della riflessione della luce. — Un raggio luminoso che incontra una superficie levigata si riflette come farebbe un raggio di calorico, cioè secondo le due leggi seguenti:

1.ª *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo di incidenza;*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Le parole *raggio incidente, raggio riflesso, angolo di incidenza, angolo di riflessione* hanno lo stesso senso che vi abbiamo attribuito al paragrafo 355, epperò è inutile definirle di nuovo.

1.ª *Dimostrazione.* — Le due leggi ora accennate si dimostrano, nelle scuole, per mezzo dell'apparecchio rappresentato nella **fig. 266.** Lungo un cerchio graduato, il cui piano è verticale, possono scorrere due raggi di ottone mobili intorno al centro, portanti l'uno un diaframma di vetro smerigliato P, l'altro un diaframma opaco C, nel cui centro è praticata una piccola apertura I, che può inclinarsi più o meno restando sempre perpendicolare al piano del cerchio graduato. Finalmente, al centro del circolo graduato trovasi un piccolo specchio piano M perpendicolare al raggio MA.

Fig. 266 (n = 48).

Per fare l'esperimento, si riceve un fascio S di luce solare sullo specchio I, il quale si inclina in modo che una parte di questo fascio, dopo la riflessione, attraversi il diaframma C e cada al centro dello specchio M. In questo punto il fascio luminoso subisce una seconda riflessione e prende una direzione MP, che si determina facendo avanzare il diaframma P sintanto che l'immagine dell'apertura C si formi al suo centro. Leggendo allora

sulla periferia i numeri dei gradi compresi negli archi AC e AP, si osserva che questi numeri sono eguali, il che dimostra essere l'angolo di riflessione AMP eguale all'angolo di incidenza CMA.

La seconda legge trovasi dimostrata dalla disposizione medesima dell'apparato, poichè il piano de' raggi CM e MP è parallelo al piano del cerchio, e quindi perpendicolare allo specchio M.

2.ª *Dimostrazione.* — Si può dimostrare la prima legge della riflessione della luce anche coll'esperimento seguente, il quale dà risultati più precisi del già esposto, ma è di più difficile esecuzione in una scuola. Si dispone verticalmente un cerchio graduato M (fig. 267) intorno al centro del quale può rotare, sopra un perno, un cannocchiale conservando il suo asse parallello al piano del cerchio;

Fig. 267.

poi si colloca ad una conveniente distanza un piccolo vase pieno di mercurio, destinato a dare uno specchio piano esattamente orizzontale. Si guarda quindi col cannocchiale, secondo una direzione AE, una stella brillante di prima o di seconda grandezza; poi si inclina il cannocchiale in modo di ricevere lungo l'asse del medesimo un raggio AD che, venendo dalla medesima stella, è stato riflesso dalla superficie del mercurio. Allora si trova che i due angoli formati dai raggi EA e DA coll'orizzontale AH sono eguali; dal che è facile conchiudere che l'angolo di incidenza E'DE è eguale all'angolo di riflessione EDA. Infatti, conducendo la normale DE, siccome questa retta è

perpendicolare ad AH, il triangolo AED è isoscele, e gli angoli ADE, AED sono eguali, ma, poichè i raggi AE e DE′ sono paralleli, a motivo della grande distanza della stella, gli angoli AED, EDE′ sono eguali come alterni interni: dunque EDE′ = EDA, come si voleva dimostrare.

RIFLESSIONE SULLE SUPERFICIE PIANE.

416. **Specchi, immagini.** — Chiamansi *specchi* certi corpi di metallo o di vetro, a superficie levigata, mediante i quali si possono vedere per riflessione gli oggetti che loro si presentano. *L'immagine* degli oggetti è il luogo ove essi si vedono.

Gli specchi, giusta la loro forma, si distinguono in specchi *piani, concavi, convessi, sferici, parabolici, conici*, ecc.

417. **Formazione delle immagini negli specchi piani.** — Siccome la determinazione della posizione e della grandezza delle immagini si riduce sempre alla ricerca delle immagini di una serie di punti, consideriamo dapprima un punto unico A situato dinanzi ad uno specchio piano MN (fig. 268). Un raggio qualunque AB, partito da questo punto e che incontra lo specchio, si riflette secondo la direzione BO, facendo l'angolo di riflessione DBO eguale all'angolo di incidenza ABD.

Ora, se si conduce dal punto A la AN perpendicolare allo specchio, e si prolunga il raggio OB al di sotto dello specchio fino ad incontrare questa perpendicolare in un punto *a*, si formano due triangoli ABN e BNa i quali sono eguali, perchè hanno un lato comune BN compreso fra due angoli eguali. Infatti, gli angoli ANB, *a*NB sono eguali fra loro perchè retti, e gli angoli ABN e NB*a* sono pure eguali fra loro perchè ambedue eguali all'angolo OBM. Dall'eguaglianza di questi triangoli risulta che *a*N è eguale ad AN; cioè che un raggio qualunque AB prende, dopo la riflessione, una direzione tale che il suo prolungamento al di sotto dello specchio incontra la perpendicolare A*a* in un punto *a* distante dallo specchio precisamente quanto lo stesso punto A. Questa proprietà, non essendo esclusiva al raggio AB, si applica anche a qualsiasi altro raggio AC partito dal punto A. Da ciò si deduce l'importante conseguenza, che tutti i raggi emessi dal punto A e riflessi sullo specchio *seguono, dopo la loro riflessione, la stessa direzione come se fossero tutti partiti dal punto a.* Perciò l'occhio è ingannato, e vede il punto

A in *a* come se ivi fosse realmente. Quindi, negli specchi piani *l'immagine di un punto si produce dietro lo specchio, ad una distanza eguale a quella del punto dato e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio.*

È evidente che si otterrà l'immagine di un oggetto qualunque costruendo, dietro la regola ora espressa, l'immagine di ciascuno de' suoi punti, od almanco di quelli che

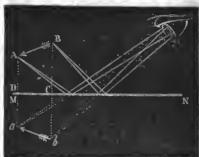



Fig 268. *Fig.* 269.

bastano per determinarne la posizione e la forma. La figura 269 mostra la costruzione che bisogna fare per ottenere l'immagine *ab* di un oggetto qualsiasi AB.

Da questa costruzione si deduce immediatamente che negli specchi piani *l'immagine ha la stessa grandezza dell'oggetto,* perchè se il trapezio ABCD si ribalta sul trapezio DC*ab*, è facile vedere che essi coincidono, e che l'oggetto AB si confonde colla sua immagine.

Dalla stessa costruzione risulta anche che negli specchi piani *l'immagine è simmetrica dell'oggetto* e non rovesciata, applicando alla parola simmetrica lo stesso senso che le si dà in geometria, cioè denominando simmetrici rispetto ad un piano due punti, quando sono situati sopra una stessa perpendicolare a questo piano e ad eguale distanza, l'uno da una banda del piano e l'altro dalla banda opposta; alle quali condizioni soddisfano tutti i singoli punti dell'oggetto AB e della sua immagine, come si può vedere nella figura 269.

418. **Immagini virtuali e immagini reali.** — Relativamente alla direzione dei raggi riflessi dagli specchi si possono distinguere due casi, a norma che questi raggi, dopo la riflessione, sono divergenti oppure convergenti. Nel primo caso i raggi riflessi non si incontrano; ma, immaginandoli prolungati al di là dello specchio, si intende

come i loro prolungamenti concorrano in uno stesso punto, siccome mostrano le figure 268 e 269. L'occhio giudica allora che i raggi siano partiti da questo punto e vi scorge un'immagine. Ora questa non esiste realmente, perchè i raggi luminosi non passano al di là dello specchio, e non è prodotta che da una illusione dell'occhio; epperò a questa immagine si dà il nome di *immagine virtuale*, volendo così esprimere che essa tende a formarsi, ma che in realtà non si produce. Tali sono costantemente le immagini fornite dagli specchi piani.

Nel secondo caso, in cui i raggi riflessi sono convergenti, come ce ne offriranno più innanzi un esempio gli specchi concavi, questi raggi concorrono verso un punto situato davanti allo specchio e dalla stessa banda dell'oggetto. Ivi formano una immagine alla quale si dà il nome di *immagine reale*, per esprimere che essa esiste realmente; di fatti, può essere ricevuta su di un diaframma ed è capace di agire chimicamente sopra certe sostanze.

Insomma, si può dire che le *immagini reali sono quelle che vengono formate dai medesimi raggi riflessi, e che le virtuali sono formate dai loro prolungamenti.*

419. **Immagini multiple negli specchi di vetro.** — Gli specchi metallici, avendo una sola superficie riflettente, producono una sola immagine; cogli specchi di vetro la cosa va diversamente. Questi specchi producono parecchie immagini, che si scorgono con facilità guardando obliquamente in uno specchio dinanzi al quale sia collocata la fiamma di una candela; si vede una prima immagine poco intensa, indi una seconda assai distinta, e dietro di questa se ne vedono parecchie altre, la cui intensità decresce successivamente sino a diventar nulla.

Questo fenomeno è prodotto dalle due superficie riflettenti che presentano gli specchi di vetro. Quando i raggi

Fig. 270.

luminosi incontrano la prima superficie, una parte ne è riflessa e dà la prima immagine a (fig. 270) formata dal prolungamento dei raggi bE; l'altra parte penetra nel vetro, si riflette in c sullo strato metallico, che riveste la superficie posteriore dello specchio, e ritorna all'occhio, nella direzione dH, formando l'immagine a'. Questa immagine, distante dalla prima del doppio della grossezza dello specchio è più intensa perchè

lo strato metallico, che ricopre lo specchio, riflette meglio del vetro. Le altre immagini sono sempre meno chiare perchè formate dai raggi emergenti dopo una serie di riflessioni successive sulle due faccie interne dello specchio.

Questa moltiplicità di immagini sarebbe dannosa alle osservazioni in parecchi strumenti di ottica; epperò si adoperano allora degli specchi metallici.

420. Immagini multiple con due specchi piani. — Quando un oggetto è situato fra due specchi piani, che facciano tra loro un angolo retto od acuto, si producono delle immagini il cui numero dipende dalla inclinazione degli specchi. Se essi sono perpendicolari l'uno all'altro, si vedono tre immagini disposte come mostra la figura 271. I raggi OC e OD, partiti dal punto O, danno, dopo una sola riflessione, uno l'immagine O' e l'altro l'immagine O''; ed il raggio OA, il quale ha subito due riflessioni in A ed in B, fornisce la terza immagine O'''.

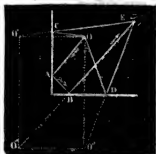



Fig. 271.

Quando l'angolo degli specchi è di 60°, si formano 5 immagini; se è di 45° se ne producono 7. Il numero delle immagini continua così a crescere a misura che l'angolo degli specchi diminuisce; quando poi è nullo, cioè quando gli specchi sono paralleli, il numero delle immagini è teoricamente infinito. Questa moltiplicità delle immagini proviene da che i raggi luminosi subiscono successivamente da uno specchio all'altro un numero di riflessioni sempre maggiore.

Su questa proprietà degli specchi inclinati è fondato il *caleidoscopio*, apparato che risulta di un tubo di cartone in cui trovansi due specchi inclinati tra loro di 45° ovvero di 60°. Collocando ad una estremità, fra due lastre di vetro, degli oggetti assai irregolari, come dei muschi, delle laminette di similoro, dei pezzi di merletto, e guardando per l'altra estremità, si vedono questi oggetti e le loro immagini disposte simmetricamente in modo da presentare un insieme assai svariato e spesse volte assai aggradevole.

421. Riflessione irregolare. — La riflessione che accade alla superficie dei corpi levigati, giusta le due leggi

precedentemente enunciate (415), è distinta col nome di *riflessione regolare* o di *riflessione speculare*. Ma la luce così riflessa non rappresenta tutta la luce incidente, la quale, quando il corpo riflettente è opaco, si divide realmente in tre parti, una che è riflessa regolarmente, l'altra *irregolarmente*, cioè in tutte le direzioni, e la terza che è estinta, perchè assorbita dal corpo riflettente, come il calorico che diventa latente nei cambiamenti di stato. Inoltre, se il corpo che riceve i raggi incidenti è trasparente, avvi un'altra parte di luce che è trasmessa a traverso del vetro.

La luce riflessa irregolarmente si distingue col nome di *luce diffusa*, e per essa noi vediamo i corpi. Di fatti, la luce riflessa regolarmente non dà l'immagine del corpo che la riflette, ma bensì quella del corpo che la emette. Per esempio, se si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare su di uno specchio ben terso, l'occhio che riceve il fascio riflesso non vede lo specchio, ma soltanto l'immagine del sole. Diminuendo la facoltà riflettente dello specchio collo spargervi sopra una polvere leggiera, la quantità di luce diffusa aumenta, l'immagine solare si indebolisce e lo specchio diventa più visibile in tutte le altre parti dell'ambiente.

422. **Intensità della luce riflessa.** — L'intensità della luce riflessa regolarmente dai corpi della stessa sostanza aumenta al crescere del grado di levigatezza e dell'angolo che i raggi incidenti fanno colla normale alla superficie riflettente. Per esempio, guardando assai obliquamente un foglio di carta bianca situato dinanzi alla fiamma di una candela, si vede per riflessione una immagine della fiamma, il che non avviene quando l'occhio riceve dei raggi riflessi meno obliqui.

Per corpi di diversa natura, levigati allo stesso grado e sotto angoli di incidenza eguali, l'intensità varia colla sostanza ed anche col mezzo nel quale è immerso il corpo riflettente. Per esempio, il vetro liscio immerso nell'acqua perde una parte della sua facoltà riflettente.

RIFLESSIONE SULLE SUPERFICIE CURVE.

423. **Specchi sferici.** — Abbiamo già detto (416) come si distinguano parecchie sorta di specchi curvi; quelli che più di frequente vengono adoperati sono gli specchi sferici e gli specchi parabolici.

Chiamansi *specchi sferici* quelli che hanno la curvatura sferica; si può supporre che la loro superficie sia generata dalla rotazione di un arco MN (fig. 272) mentre ruota intorno al raggio CA che congiunge il punto di mezzo dell'arco col suo centro. Si dice poi che lo specchio è *concavo* o *convesso* a norma che la riflessione ha luogo sulla sua superficie concava o convessa. Chiamasi *centro di curvatura* o

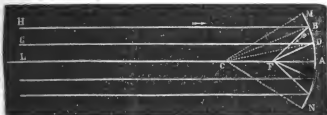



Fig. 272.

centro geometrico il centro C della sfera cava di cui lo specchio forma parte: il punto A è il *centro di figura.* La retta indefinita AL, che passa pei centri A e C, è l'*asse principale* dello specchio; tutte le rette che passano soltanto pel centro C, senza passare pel punto A, sono *assi secondarii.* Chiamasi *sezione principale* o *sezione meridiana* di uno specchio quella che si ottiene segandolo con un piano che passa per l'asse principale. Finalmente, si denomina *apertura* di uno specchio l'angolo MCN formato dai raggi CN, CM condotti ai lembi di esso in una sezione principale. In tutto ciò che diremo intorno agli specchi avremo riguardo soltanto alle linee situate in una stessa sezione principale.

La teoria della riflessione della luce sugli specchi curvi si deduce assai facilmente dalle leggi della riflessione sugli specchi piani, considerando la superficie dei primi siccome risultante di un numero grandissimo di superficie piane infinitamente piccole che ne sono gli *elementi.* La *normale* alla superficie curva in un punto dato è allora la perpendicolare all'elemento corrispondente, o, ciò che è lo stesso, al piano tangente che lo contiene. Ora, si dimostra in geometria, che nella sfera la perpendicolare al piano tangente condotta dal punto di contatto passa pel centro; per cui la normale a qualsiasi specchio sferico, in un punto qualunque, si ottiene congiungendo mediante una retta, questo punto col centro di curvatura.

424. Fuochi negli specchi sferici concavi. —

Negli specchi curvi chiamansi *fuochi* i punti in cui concorrono i raggi riflessi od i loro prolungamenti; d'onde due sorta di fuochi: i *fuochi reali* e i *fuochi virtuali* (418). Gli specchi concavi, che studieremo tosto pei primi, offrono queste due sorta di fuochi.

1.° *Fuochi reali.* — La posizione di questi fuochi è fissa o variabile: nel primo caso, il fuoco prende il nome di *fuoco principale*, nel secondo quello di *fuoco conjugato*. Di fatti, consideriamo dapprima il caso in cui i raggi luminosi sono paralleli all'asse principale, il che suppone il corpo rischiarante situato ad una distanza infinita, e rappresentiamo uno di questi raggi con GD (fig. 272). Dietro l'ipotesi più sopra ammessa, che la superficie degli specchi curvi sia formata di un numero grandissimo di superficie piane infinitamente piccole, il raggio GD si riflette sull'elemento corrispondente al punto D giusta le leggi della riflessione sugli specchi piani (415), cioè in modo che, essendo CD la normale al punto di incidenza D, l'angolo di riflessione CDF è eguale all'angolo di incidenza GDC e si trova nella stessa sezione meridiana. Onde si può facilmente conchiudere che il punto F, ove il raggio riflesso incontra l'asse principale, è assai approssimativamente il punto di mezzo del raggio di curvatura AC. Di fatti, nel triangolo DFC, i lati DF e CF sono eguali siccome opposti ad angoli eguali, perchè gli angoli DCF e FDC sono ambedue eguali all'angolo CDG, il primo come alterno-interno, il secondo in conseguenza della legge di riflessione. D'altronde FD si accosta tanto più ad eguagliare FA quanto più piccolo è l'arco AD. Quindi allorchè quest'arco è soltanto di un piccolo numero di gradi, si possono considerare le rette AF e FC come sensibilmente eguali, e perciò il punto F si può ritenere siccome il punto di mezzo della AC. Fintanto che l'apertura MCN dello specchio non supera 8 o 10 gradi, qualsiasi altro raggio BH, parallelo all'asse, dopo di essere stato riflesso, passa assai approssimativamente pel punto F. Questo punto in cui, avvenuta la riflessione, concorrono i raggi che prima dell'incidenza erano paralleli all'asse principale, si chiama *fuoco principale*, e la distanza FA è la *distanza focale principale*, la quale, siccome vedemmo, eguaglia la metà del raggio.

Importa notare che siccome tutti i raggi paralleli all'asse vanno a concorrere sensibilmente nello stesso punto F, così, reciprocamente, i raggi emessi da un oggetto lumi-

noso collocato in F devono prendere, dopo la riflessione, delle direzioni DG, BH,... parallele all'asse principale; perchè è evidente che allora gli angoli di riflessione sono cambiati in angoli di incidenza, e quelli di incidenza in angoli di riflessione.

Si consideri ora il caso in cui i raggi luminosi che cadono sullo specchio siano emessi da un punto L (fig. 273) situato sull'asse principale, in modo che i raggi incidenti non siano paralleli ma divergenti. Siccome, in questo caso, il raggio incidente LK fa colla normale CK un angolo di

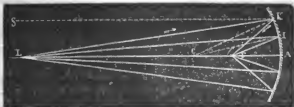



Fig. 273.

incidenza LKC più piccolo dell'angolo SKC, che fa colla stessa normale il raggio SK parallelo all'asse, l'angolo di riflessione corrispondente al raggio LK dovrà anche essere più piccolo dell'angolo corrispondente al raggio SK. Per ciò il raggio LK, dopo la riflessione, dovrà incontrare l'asse in un punto l situato fra il centro C ed il fuoco principale F. Fintanto che l'apertura dello specchio non sorpassa un piccolo numero di gradi, tutti i raggi emessi dal punto L, in seguito alla riflessione, concorrono sensibilmente nello stesso punto l. Questo punto chiamasi *fuoco conjugato* per indicare il rapporto esistente fra i punti L ed l, rapporto tale per cui sono reciproci l'uno dell'altro; cioè, se il punto luminoso fosse trasportato in l, il suo fuoco conjugato sarebbe in L, poichè allora lK diventerebbe il raggio incidente e KL il raggio riflesso.

Per dimostrare che i raggi emessi dal punto L e riflessi sullo specchio vanno tutti a concorrere in l, osserviamo che nel triangolo LKl la retta CK essendo la bisettrice dell'angolo K, si ha, dietro un noto teorema di geometria, $\frac{LK}{Kl} = \frac{LC}{Cl}$ (1). D'altronde, supposta di un piccolo numero di gradi l'apertura dello specchio, LK è sensibilmente eguale a LA, e lK a lA. L'eguaglianza (1) può adunque essere sostituita da $\frac{LA}{lA} = \frac{LC}{Cl}$, e quest'ulti-

ma può mettersi sotto la forma $\frac{LA}{LC} = \frac{lA}{Cl}$ (2). Ora, l'eguaglianza (2) sussiste per tutti i raggi emessi dal punto L, ed il rapporto $\frac{LA}{LC}$ è costante finchè non cambia la distanza LA. Quindi anche il rapporto $\frac{lA}{Cl}$ è costante, il che non può verificarsi se non a condizione che tutti i raggi riflessi concorrano in *l*. Infatti, per tutti i raggi che incontrerebbero l'asse più lontano dal centro o più vicino che non il punto *l*, i due termini *lA* e *Cl* variando in verso opposto, il rapporto $\frac{lA}{Cl}$ non sarebbe più costante.

Esaminando la figura 273 si riconosce facilmente che allorquando l'oggetto L si avvicina o si allontana dal centro C, il suo fuoco conjugato se ne avvicina o se ne allontana anch'esso; perchè gli angoli di incidenza e di riflessione crescono o descrescono insieme.

Quando l'oggetto L coincide col centro C, l'angolo di incidenza è nullo, e siccome avviene altrettanto dell'angolo di riflessione, il raggio riflesso ritorna sopra sè stesso ed il fuoco coincide coll'oggetto. Quando l'oggetto luminoso passa al di là del centro C, fra questo punto ed il fuoco principale, il fuoco conjugato passa alla sua volta dall'altro lato del centro, e se ne allontana a misura che il punto luminoso si avvicina al fuoco principale. Finalmente, quando il punto luminoso coincide col fuoco principale, i raggi riflessi sono paralleli all'asse ed il fuoco conjugato si forma a distanza infinita, cioè non esiste più.

2.° *Fuochi virtuali.* — Si consideri il caso in cui l'oggetto trovisi collocato in L (fig. 274) tra il fuoco principale

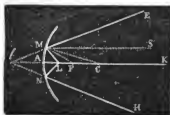



Fig. 274.

Fig. 275.

pale e lo specchio. Allora un raggio qualsiasi LM, emesso dal punto L, fa colla normale CM un angolo di incidenza LMC più grande di FMC; per ciò l'angolo di rifles-

sione deve essere più grande dell'angolo CMS. Ne segue che il raggio riflesso ME è divergente relativamente all'asse AK. Siccome avviene altrettanto per tutti i raggi emessi dal punto L, questi raggi non si incontrano, e quindi non formano alcun fuoco conjugato; ma se si immaginano prolungati al di là dello specchio, si intende come i loro prolungamenti vadano a concorrere sensibilmente in uno stesso punto *l* situato sull'asse; di maniera che l'occhio, ricevendoli, prova la stessa impressione come se questi raggi fossero emessi dal punto *l*. Perciò si produce in questo punto un fuoco virtuale affatto analogo a quello che presentano gli specchi piani (418).

Nei differenti casi che abbiamo presi in considerazione è da notarsi che la posizione del fuoco principale è costante, mentre quelle del fuoco conjugato e del fuoco virtuale sono variabili. Finalmente, *il fuoco principale ed il fuoco conjugato sono sempre situati dallo stesso lato dell'oggetto relativamente allo specchio*, mentre, all'opposto, *il fuoco virtuale è situato all'altro lato.*

3.º *Fuoco conjugato su di un asse secondario.* — Fino ad ora abbiamo supposto che il punto luminoso fosse situato nell'asse principale, nel qual caso il fuoco si forma in quest'asse; quando il punto luminoso fosse situato in un asse secondario LB (fig. 275), estendendo a quest' asse gli stessi ragionamenti che abbiamo applicati all'asse principale, si riconoscerebbe che il fuoco del punto L si forma in un punto *l* situato sull'asse secondario, e che, a seconda della distanza del punto L, questo fuoco può essere un fuoco principale, conjugato o virtuale. Del resto facciamo osservare che gli assi secondarii, al pari dell'asse principale, possono sempre rappresentare un raggio luminoso incidente, ma un raggio che si confonde colla normale e quindi col raggio riflesso.

425. **Fuochi negli specchi convessi.** — Negli spechi convessi il fuoco è sempre virtuale. Di fatti, siano i raggi SI, TK..., (fig. 276) paralleli all'asse principale di uno specchio convesso. Questi raggi, dopo di essere stati riflessi, prendono delle direzioni divergenti IM, KH..., le quali, prolungate, vanno a concorrere in un punto F, che è il *fuoco virtuale principale* dello specchio. Considerando il triangolo CKF, si dimostrerebbe, come già fu dimostrato riguardo agli specchi concavi, che il punto F è sensibilmente il punto di mezzo del raggio di curvatura CA.

Se i raggi luminosi incidenti, invece di essere paralleli

all'asse, partono da un punto L situato sull'asse ad una distanza finita, si riconosce facilmente che il fuoco è an-

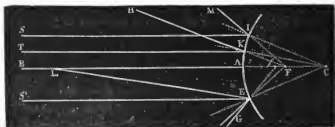



Fig. 276.

cora virtuale, ma che si forma nel punto *l*, fra il punto F e lo specchio.

426. **Determinazione del fuoco principale.** — Nelle applicazioni degli specchi concavi o convessi, occorre spesse volte di dover conoscere il raggio di curvatura. Ora questa ricerca si riduce a quella del fuoco principale; perchè, essendo questo fuoco collocato alla metà del raggio, per avere quest'ultimo basterà raddoppiare la distanza focale.

Per trovare il fuoco, quando lo specchio è concavo, si presenta quest'ultimo ai raggi solari in modo che il suo asse principale sia parallelo ai medesimi; indi con un piccolo diaframma di vetro smerigliato si cerca il luogo ove l'immagine offre la massima intensità di luce; ivi

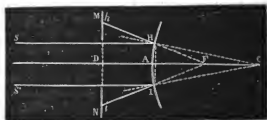



Fig. 277.

trovasi il fuoco principale. Misurando la distanza fra questo punto e lo specchio, e raddopiandola, si ha il raggio dello specchio.

Se lo specchio è convesso, lo si copre di carta, usando l'avvertenza di lasciarvi, ad eguali distanze dal centro di figura A e nello stesso piano meridiano (fig. 277), due piccole aperture circolari H ed I, ove, per ciò, rimane

scoperto lo specchio. Quindi si colloca dinanzi allo specchio uno schermo MN nel cui centro trovasi praticata una apertura circolare più grande della distanza HI. Ricevendo allora sullo specchio un fascio di raggi solari SH ed S'I paralleli all'asse, la luce si riflette in H ed in I sulle parti in cui lo specchio è scoperto, e va a produrre sul diaframma due immagini brillanti in *h* ed in *i*. Allontanando od avvicinando il diaframma MN, trovasi una posizione in cui l'intervallo *hi* è doppio di HI. Allora la distanza AD dello schermo dallo specchio rappresenta la distanza focale principale. Di fatti, essendo simili i triangoli FHI ed F*hi* si ha HI : FA = *hi* : FD; ma HI è la metà di *hi*, dunque anche FA è eguale alla metà di FD; epperò AD è eguale ad FA; d'altronde FA è la distanza focale principale, poichè i raggi SH ed S'I sono paralleli all'asse: quindi il doppio di AD rappresenta il raggio di curvatura dello specchio.

427. **Formazione delle immagini negli specchi concavi.** — Fino ad ora abbiamo supposto che l'oggetto luminoso o rischiarato, collocato dinanzi agli specchi, fosse soltanto un punto; ma se quest'oggetto ha una certa estensione, si può immaginare condotto per ciascuno de'suoi punti un asse secondario e determinare così una

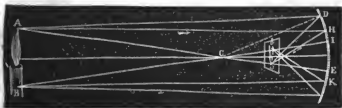



Fig. 278.

sequela di fuochi reali o virtuali, il cui insieme comporrà l'immagine reale o virtuale dell'oggetto. Ora dobbiamo studiare come si determini negli specchi concavi la posizione e la grandezza di queste immagini, fondandoci sulle costruzioni che servirono a trovare i fuochi (424 e 425).

Immagine reale. — Si consideri dapprima il caso in cui lo specchio sia concavo e l'oggetto AB (fig. 278) si trovi collocato al di là del centro. Per ottenere l'immagine od il fuoco conjugato di un punto qualunque A, si deve incominciare col condurre per questo punto l'asse secondario AE; indi, tracciando dal punto A un raggio incidente

qualunque AD, si conduce al punto di incidenza la normale DC e si costruisce l'angolo di riflessione CDa eguale all'angolo di incidenza ADC. Il punto a, ove il raggio riflesso incontra l'asse secondario AE, è il conjugato del punto A, perchè qualunque altro raggio AH partito da questo punto va a concorrere in a (424 1°). Parimenti, se dal punto B si conduce l'asse secondario BI, i raggi emessi da questo punto, dopo la riflessione, vanno a concorrere in b ed a formarvi il fuoco conjugato di B. Siccome le immagini di tutti i punti dell'oggetto AB vanno a formarsi fra a e b, ne segue che ab è l'immagine completa di AB. Dietro quanto dicemmo intorno ai fuochi (424), *questa immagine è reale, rovesciata, più piccola dell'oggetto e posta fra il centro di curvatura ed il fuoco principale.* Si può vedere questa immagine in due modi; o situando l'occhio sulla direzione dei raggi riflessi; ed allora si vede una *immagine aerea* dell'oggetto; ovvero ricevendo i raggi riflessi su di un diaframma che riflette la luce in tutte le direzioni e la rimandi verso l'occhio.

Reciprocamente, se l'oggetto luminoso o rischiarato di cui si cerca l'immagine è situato in ab, tra il fuoco principale ed il centro, la sua immagine si produce in AB. Anche in questo caso essa è reale e rovesciata ma più grande dell'oggetto e tanto più grande quanto più l'oggetto ab è vicino al fuoco.

Se l'oggetto è situato propriamente nel fuoco principale, non si produce veruna immagine; perchè allora i raggi

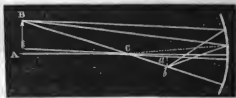



Fig. 279.

emessi da ciascun punto formano, in seguito alla riflessione, altrettanti fasci rispettivamente paralleli all'asse secondario condotto pel punto da cui sono emessi (424), e quindi non possono produrre nè fuochi nè immagini.

Quando l'oggetto AB ha tutti i suoi punti fuori dell'asse principale, come mostra la figura 279, ripetendo la costruzione precedente, è facile trovare che l'immagine dell'oggetto AB si produce in ab.

Immagine virtuale. — Si consideri ora il caso in cui l'oggetto del quale cercasi l'immagine sia collocato tra il fuoco principale e lo specchio, ed AB rappresenti questo oggetto (fig. 280). Siccome i raggi incidenti AD, AK, in seguito alla riflessione, prendono le direzioni DI e EK, i loro prolungamenti vanno a formare in *a* una immagine virtuale del punto A. Parimenti l'immagine di B si forma

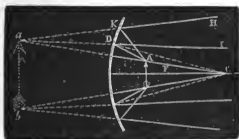



Fig. 280.

in *b*; di maniera che l'occhio vede in *ab* l'immagine di AB. ***Questa immagine è virtuale, diritta e più grande dell' oggetto.***

Riassumendo quanto precede, vedesi che gli specchi concavi danno origine a due specie di immagini o non ne producono alcuna, a norma della distanza dell'oggetto, il che si può constatare collocandosi dinanzi ad uno specchio concavo; ad una certa distanza si vede la propria immagine rovesciata e più piccola, e questa è l'immagine reale, ad una distanza minore l'immagine diventa confusa; indi essa scompare, quando l'osservatore si trova nel fuoco. Se la distanza si rende ancora più piccola, l'immagine ricompare diritta e più grande ed è l'immagine virtuale.

428. **Formazione delle immagini negli specchi convessi.** — Sia AB (fig. 281) un oggetto collocato dinanzi ad uno specchio convesso, ad una distanza qualunque. Conducendo gli assi secondarii AC e BC, da quanto abbiamo veduto (425) relativamente alla costruzione dei fuochi negli specchi convessi, risulta che tutti i raggi emessi dal punto A sono divergenti in seguito alla riflessione, e che i loro prolungamenti vanno a concorrere in un punto *a*, che è l'immagine virtuale del punto A. Parimenti i raggi emessi dal punto B vanno a produrre in *b* una immagine virtuale di questo punto. Quindi l'occhio

che riceve i raggi divergenti DE, KH,... vede in *ab* una immagine di AB. Da questa costruzione risulta che, qualunque sia la posizione di un oggetto collocato davanti ad uno specchio convesso, *l'immagine è sempre virtuale, diritta e più piccola dell' oggetto.*

429. **Regola generale per la costruzione delle immagini negli specchi.** — La seguente regola riassume le diverse operazioni indicate nei precedenti paragrafi per la costruzione delle immagini che si ottengono cogli specchi concavi e coi convessi (fig. 278, 280 e 281).

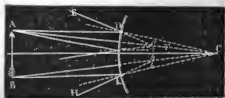



Fig. 281

Per costruire l'immagine di un punto conviene: 1.° *condurre l'asse secondario, che passa per questo punto;* 2.° *condurre dal punto dato un raggio qualunque incidente sullo specchio;* 3.° *condurre dal punto di incidenza al centro la retta, la quale rappresenta la normale e fa conoscere l'angolo d'incidenza;* 4.° *dal punto di incidenza condurre dall'altra banda della normale la retta, che fa con essa un angolo eguale all'angolo di incidenza. Quest' ultima retta rappresenta il raggio riflesso, e, prolungandola fino ad incontrare l'asse secondario, il suo punto di incontro con quest' asse è il luogo richiesto della immagine.*

Applicando questa costruzione a ciascun punto di un oggetto, si troverà la corrispondente immagine, la quale sarà reale o virtuale secondo che i raggi riflessi medesimi tagliano l'asse secondario che trovasi davanti allo specchio, od i loro prolungamenti lo tagliano al di là dello specchio.

430. Formole relative agli specchi sferici. — **Con una formola semplicissima si può rappresentare la relazione che passa fra la posizione relativa di un oggetto e quella della sua immagine negli specchi sferici. Per ciò, suppongasi dapprima che lo specchio sia concavo, e si rappresenti con R il suo raggio di curvatura, con p la distanza LA dell'oggetto L (fig. 282) dallo specchio, e con p' la distanza lA dell'immagine dallo specchio medesimo. Siccome nel triangolo LMl, la normale LC divide l'angolo LMl in**

due parti eguali, si può applicare il noto teorema di geometria che in qualunque triangolo la bissettrice di un angolo divide il lato opposto in due

Fig. 28°.

seguenti, i quali stanno fra loro come i due lati dell'angolo; cioè che

$$C\,l : CL = l\,M : ML.$$

Eguagliando il prodotto degli estremi a quello del medii, si ha

$$C\,l \times ML = CL \times l\,M.$$

Ora, se l'arco AM non supera 5 o 6 gradi, le linee ML, Ml sono sensibilmente eguali ad AL, Al, cioè a p e p'. D'altronde

$$C\,l = CA - A\,l = R - p', \text{ e } CL = AL - AC = p - R.$$

Sostituendo questi valori nell'eguaglianza precedente si ha

$$(R - p')\,p = (p - R)\,p', \text{ ossia } Rp - pp' = pp' - Rp';$$

trasportando e riducendo, si trova

$$Rp + Rp' = 2pp' \ (1).$$

Se si dividono tutti i termini di questa eguaglianza per $pp'R$ e si sopprimono i fattori comuni, essa prende la forma

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{R} \ (2),$$

sotto la quale viene d'ordinario adoperata.

Risolvendo l'equazione (1) relativamente a p', se ne deduce

$$p' = \frac{pR}{2p - R} \ (3);$$

la qual formola fa conoscere la distanza dell'immagine dallo specchio quando sia nota quella dell'oggetto ed il raggio di curvatura.

431. Discussione della formola degli specchi. — Cerchiamo ora i differenti valori che assume p', in corrispondenza di quelli che si danno a p nella formola (3).

1.° L'oggetto luminoso o rischiarato sia dapprima sull'asse ad una distanza infinita, nel qual caso i raggi incidenti sono paralleli. Per interpretare il valore che prende allora p', bisogna dividere per p i due termini della frazione $\frac{pR}{2p - R}$, il che dà

$$p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}} \ (4).$$

Ora, introducendo in questa formola la condizione che p sia infinito, la frazione $\frac{R}{p}$ diventa nulla, e si ha $p' = \frac{R}{2}$; cioè l'immagine si produce al fuoco principale, come poteva prevedersi, perchè i raggi incidenti formano allora un fascio parallelo all'asse.

2.º Se l'oggetto si avvicina allo specchio, p decresce e, diminuendo il denominatore della formola (4), aumenta il valore di p'; quindi l'immagine si avvicina al centro del pari che l'oggetto, ma trovasi sempre tra il fuoco principale ed il centro, perchè fintanto che p è $> R$, si ha

$$\frac{R}{2 - \frac{R}{p}} > \frac{R}{2} \text{ e } < R.$$

3.º Se l'oggetto coincide col centro, il che si esprime facendo $p = R$, diventa $p' = R$, cioè l'immagine coincide coll'oggetto.

4.º Se l'oggetto luminoso viene a collocarsi fra il centro ed il fuoco principale, si ha $p < R$, e si conchiude dalla formola (4) che p' è $> R$; cioè che allora l'immagine si forma al di là del centro. Quando l'oggetto è giunto al fuoco principale, si ha $p = \frac{R}{2}$, il che dà $p' = \frac{R}{0} = \infty$; cioè l'immagine si produce a distanza infinita. Difatti, i raggi riflessi sono allora paralleli all'asse.

5.º Finalmente se l'oggetto è tra il fuoco principale e lo specchio, si ha $p < \frac{R}{2}$, il denominatore della formola (4) essendo allora negativo, è del pari negativo p': cioè la distanza p' fra l'immagine e lo specchio devesi prendere sull'asse in verso contrario di p Di fatti, l'immagine è allora virtuale e situata dall'altro lato dello specchio (424).

Introducendo nella formola (2) la condizione che p' sia negativo, questa formola diventa $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$; sotto questa forma essa comprende il caso delle immagini virtuali negli specchi concavi.

Trattandosi di specchi convessi, siccome l'immagine è sempre virtuale (428), p' e R sono dallo stesso segno, poichè l'immagine ed il centro sono da una stessa banda dello specchio, mentre che l'oggetto essendo dall'altra, p è di segno contrario; introducendo questa condizione nella formola (2), si trova $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ (5), formola relativa agli specchi convessi. Del resto si potrebbe trovarla direttamente colle stesse considerazioni geometriche che ci hanno condotto alla formola (2) degli specchi concavi.

Bisogna però notare che le differenti formole suaccennate non sono rigorosamente esatte, poichè si fondano sulla ipotesi che le rette LM ed lM

(fig. 282) siano eguali ad LA ed lA, il che è vero soltanto quando l'angolo MCA è nullo; ma queste formole si accostano tanto più all'esattezza quanto minore è l'angolo MCA, ossia quanto è più piccola l'apertura dello specchio.

432. Calcolo della grandezza delle immagini. — Per mezzo delle formole precedenti si può facilmente calcolare la grandezza di una immagine, quando si conoscano la distanza dell'oggetto, la sua grandezza ed il raggio dello specchio. Di fatti, se si rappresenta l'oggetto con BD (fig. 234), con

Fig. 283.

bd la sua immagine, e se si suppone conosciuta la distanza AK ed il raggio AC, si calcola A*o* per mezzo della formola (3) del paragrafo 430. Conosciuta A*o*, se ne deduce *o*C. Ora, siccome i due triangoli BCD e *d*C*b* sono simili, si hanno tra le loro basi e le loro altezze le proporzioni:

BD : *bd* = CK : C*o*, d'onde si deduce la grandezza *bd* dell'immagine.

433. Aberrazione di sfericità, caustiche. — Nella teoria ora esposta intorno ai fuochi ed alle immagini negli specchi sferici, abbiamo già notato che i raggi riflessi vanno sensibilmente a concorrere verso un unico punto sol quando l'apertura dello specchio non sorpassi 8° o 10° (424). Per una apertura più grande, i raggi riflessi in vicinanza dei lembi incontrano l'asse a minor distanza dallo specchio di quelli che sono riflessi presso al centro di figura. Epperò ne risulta nelle immagini una mancanza di precisione cui si dà il nome di *aberrazione di sfericità per riflessione*, onde distinguerla dalla aberrazione di sfericità per rifrazione che presentano le lenti (458).

Siccome i raggi riflessi si tagliano successivamente a due a due, come

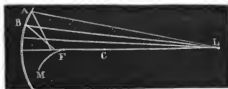



Fig. 284.

vedesi al di sopra dell'asse FL (fig. 284), così i loro punti di intersezione formano nello spazio una superficie brillante, che si chiama *caustica per riflessione*. La curva FM rappresenta uno dei rami della sezione meridiana di questa superficie.

434. **Applicazioni degli specchi.** — Sono notissime le applicazioni degli specchi piani nell'economia domestica. Questi specchi sono anche di un uso frequente in molti apparati di fisica, allo scopo di dare alla luce una direzione determinata. Quando trattasi di luce solare, si può conservare ai raggi riflessi una direzione costante soltanto nel caso che lo specchio sia mobile. Bisogna allora imprimere a quest'ultimo un movimento, il quale compensi il cambiamento di direzione, che assumono continuamente i raggi incidenti dipendentemente dal moto diurno apparente del sole. Si ottiene questo risultato con un movimento di orologeria, il quale fa variare l'inclinazione dello specchio per mezzo di un'asta a cui quest'ultimo trovasi fissato. L'apparato così costrutto chiamasi *eliostato*. Si approfittò della riflessione della luce anche per misurare gli angoli dei cristalli con una grande precisione, per mezzo di strumenti conosciuti sotto il nome di *goniometri* a riflessione.

Anche gli specchi concavi ricevettero numerose applicazioni. Si adoperano per avere una immagine più grande dell'oggetto, ed a tal uopo sono adoperati da coloro che si radono la barba. Abbiamo già veduto come possono essere impiegati quali specchi ustorii (357); sono anche usati nei telescopii. Finalmente, gli specchi concavi possono anche servire come riflettori per rimandare la luce a grandi distanze, il che si ottiene collocando una sorgente di luce nel loro fuoco principale; ma per questo uso sono da preferirsi gli specchi parabolici.

435. **Specchi parabolici.** — Gli *specchi parabolici* sono specchi concavi la cui superficie si può supporre generata della rotazione di un arco di parabola AM attorno al suo asse AX (fig. 285).

Si è veduto precedentemente (433) che cogli specchi sferici i raggi paralleli all'asse non concorrono esattamente al fuoco principale, dal che risulta reciprocamente che una sorgente di luce collocata nel fuoco principale di tali specchi dà un fascio di raggi riflessi che sono soltanto approssimativamente paralleli all'asse. Ora, questo difetto non si trova più negli specchi parabolici, i quali sono bensì di più difficile costruzione che gli specchi sferici, ma servono meglio per riflettori. Infatti, è nota proprietà della parabola che, per un punto M qualunque di questa curva, il raggio vettore FM, condotto dal fuoco F, e la retta ML parallela all'asse, fanno angoli eguali colla tan-

gente TT'. Per conseguenza, negli specchi parabolici tutti i raggi paralleli all'asse concorrono esattamente, dopo la riflessione, al fuoco F dello specchio, e, reciprocamente, quando sia collocata in questo fuoco una sorgente di luce, i raggi luminosi, che cadono sullo specchio, riflettendosi, formano un fascio esattamente parallelo all'asse. Ne segue

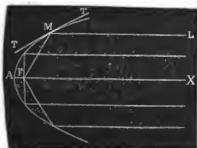



Fig. 285.

Fig 286.

che la luce riflessa dai medesimi tende a conservare la stessa intensità a qualsiasi distanza, perchè si è veduto (413) che la intensità della luce è indebolita principalmente dalla divergenza dei raggi luminosi.

Per questa loro proprietà gli specchi parabolici vengono posti dietro le lampade che si collocano sulle pubbliche carrozze e sui convogli delle strade ferrate. Questi riflettori furono anche usati per molto tempo nei fari, ma vedremo quanto prima che ora si adoperano di preferenza per questo scopo dei vetri lenticolari.

Segando due specchi parabolici eguali con un piano perpendicolare all'asse e che passa pel fuoco, ed unendo poscia i due specchi per le due sezioni fatte, come mostra la figura 286, in modo che i due fuochi coincidano, si ottiene un sistema di riflettori col quale una sola fiamma illumina contemporaneamente in due opposte direzioni. Questo sistema viene applicato alle scale per rischiararle in tutta la loro estensione.

CAPITOLO III.

RIFRAZIONE SEMPLICE, LENTI.

436. **Fenomeno della rifrazione.** — La *rifrazione* è una deviazione che subiscono i raggi luminosi quando passano obliquamente da un mezzo in un altro, per esempio, dall'aria nell'acqua. Diciamo *obliquamente*, perchè se il raggio luminoso è perpendicolare alla superficie che separa i due mezzi, non è deviato e continua a propagarsi in linea retta.

Se si rappresenta con SO (fig. 287) il *raggio incidente*, chiamasi *raggio rifratto* la direzione OH, che prende la luce nel secondo mezzo, e gli angoli SOA ed HOB, che formano questi raggi colla retta AB, normale alla superficie di separazione dei due mezzi, si chiamano gli *angoli di incidenza e di rifrazione*. Secondo che il raggio rifratto si avvicina alla normale o se ne allontana, si dice che il secondo mezzo è *più* o *meno rifrangente* del primo.

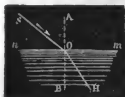



Fig. 287.

Il calcolo dimostra che il verso della rifrazione dipende dalla velocità relativa della luce nei due mezzi. Il mezzo più rifrangente, nel sistema delle ondulazioni, è quello nel quale la velocità di propagazione è minore.

La luce incidente, che si presenta per passare da un mezzo in un altro, non penetra mai tutta in quest' ultimo; una parte se ne riflette alla superficie di separazione dei due mezzi, e penetra nel secondo mezzo soltanto l'altra.

Nei mezzi non cristallizzati, come l'aria, i liquidi, il vetro ordinario, il raggio luminoso, che è semplice all'incidenza, rimane semplice anche dopo la rifrazione; ma in un gran numero di corpi cristallizzati, come lo spato di Islanda ed il cristallo di rocca, il raggio incidente dà origine a due raggi rifratti. Il primo di questi fenomeni costituisce la *rifrazione semplice*; al secondo si dà il nome di *doppia rifrazione*, ovvero *birifrazione*. Qui parleremo soltanto, della rifrazione semplice, della doppia tratteremo più innanzi (518).

437. **Leggi della rifrazione semplice.** — Quando un raggio luminoso si rifrange passando da un mezzo in

un altro dotato di un potere rifrangente diverso, si osservano le due leggi seguenti:

1.ª *Qualunque sia l'obliquità del raggio incidente, il seno dell'angolo di incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione stanno in un rapporto costante per due mezzi dati, ma variabile al cangiare dei mezzi.*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio rifratto sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie dividente i due mezzi.*

Queste leggi sono conosciute sotto il nome di *leggi di Cartesio,* perchè questo fisico le formolò pel primo. Per dimostrarle si adopera lo stesso apparato che servì per le leggi della riflessione (415). A questo effetto, si sostituisce allo specchio piano, collocato al centro del circolo graduato, un vase semicilindrico di vetro pieno d'acqua, in modo che la superficie del liquido si trovi esattamente all'altezza del centro del circolo (fig. 288). Allora facendo ruotare lo specchio M, in modo di dirigere verso il centro un raggio riflesso MO, questo si rifrange al suo ingresso nell'acqua, ma nell'uscire non si rifrange più, perchè allora la sua direzione è perpendicolare alla parete curva del vase. Per conoscere l'andamento del raggio rifratto OP, lo si riceve sopra un diaframma P, il quale si fa muovere fino a tanto che l'immagine dell'apertura praticata nel diaframma N venga a formarsi al suo centro. Finalmente, in tutte le posizioni dei diaframmi N e P il seno dell'angolo d'incidenza MOA e quello dell'angolo di rifrazione DOP sono misurati da due regoli mobili I ed R divisi in millimetri, ed equilibrati in modo da rimanere costantemente orizzontali, cioè perpendicolari al diametro AD.

Fig. 288. ($a = 48$).

Ciò posto, se si misurano, per mezzo dei regoli I ed R, i seni degli angoli MOA e DOP, si trovano numeri che variano colla posizione dei diaframmi, ma il cui rapporto è costante; cioè, se il seno dell'angolo d'incidenza diventa

doppio o triplo, altrettanto avviene del seno dell'angolo di rifrazione, il che dimostra la prima legge. La seconda poi trovasi dimostrata dalla stessa disposizione dell'apparecchio, perchè il piano del circolo graduato è perpendicolare alla superficie del liquido contenuto nel vase semicilindrico.

438. Indici di rifrazione. — Si chiama *indice di rifrazione* il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e quello dell'angolo di rifrazione. Rappresentando con n quest'indice, e con i ed r gli angoli di incidenza e di rifrazione, si ha quindi $\frac{sen\, i}{sen\, r} = n$. L'indice varia al variare dei mezzi; il suo valore è $^4/_3$ nel passaggio dall'aria all'acqua e $^3/_2$ dall'aria al vetro, il che si esprime dicendo che l'indice di rifrazione dell'acqua relativamente all'aria è $^4/_3$ e quello del vetro $^3/_2$. Si avrebbe l'indice di *rifrazione assoluta* di una sostanza quando la luce, invece di passare in essa dall'aria vi passasse dal vuoto. Siccome i gas sono pochissimo rifrangenti, l'indice di rifrazione assoluta differisce sempre assai poco dall'indice di rifrazione relativamente all'aria.

Reciprocamente, se si considerano i mezzi in ordine inverso, cioè se si osserva il passaggio della luce dall'acqua nell'aria o dal vetro nell'aria, si trova ch'essa segue *lo stesso cammino*, ma in verso contrario, perchè PO diventa il raggio incidente ed OM il rifratto. Per conseguenza il rapporto che rappresenta in questo caso l'indice di rifrazione è esso pure invertito, ossia è $^3/_4$ dall'acqua all'aria e $^2/_3$ dal vetro all'aria.

439. Effetti prodotti dalla rifrazione. — Per effetto della rifrazione i corpi immersi in un mezzo più rifrangente dell'aria sembrano avvicinati alla superficie di separazione dei due mezzi; e al contrario ne sembrerebbero allontanati se fossero posti in un mezzo meno rinfrangente. Si consideri, per esempio, un oggetto L collocato in una massa d'acqua (fig. 289). I raggi LA, LB.... passando dall'acqua nell'aria, s'allontanano dalla normale al punto di incidenza, e prendono le direzioni AC, BD,... i cui prolungamenti concorrono sensibilmente in un punto L' situato sulla perpendicolare LK. L'occhio, che riceve questi raggi, vede adunque l'oggetto L in L'. Quanto più obbliqui sono i raggi LA, LB.... tanto più l'oggetto sembra rialzato.

Per questo stesso motivo un bastone immerso obliquamente nell'acqua sembra infranto (fig. 290), perchè la parte immersa appare rialzata.

Parimenti, per effetto della rifrazione, gli astri ci sembrano più alti che non siano sul nostro orizzonte. E difatti, siccome gli strati atmosferici aumentano di densità

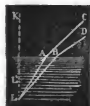



Fig. 289.

Fig. 290.

Fig. 291.

presso al suolo, e per uno stesso gas il potere rifrangente cresce colla densità (449), ne risulta che i raggi luminosi, entrando nell'atmosfera e propagandosi in essa, si inflettono, come mostra la figura 294, descrivendo una curva, che arriva fino all'occhio; epperciò noi vediamo l'astro non già in S. ma in S' nella direzione della tangente di questa curva. Nei nostri climi la rifrazione atmosferica non eleva gli astri più di mezzo grado.

440. Angolo limite, riflessione totale. — Si è veduto (438) che quando un raggio luminoso passa da

Fig. 292.

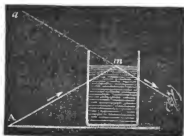



Fig. 293.

un mezzo in un altro meno rifrangente, come dall'acqua nell'aria, l'angolo di rifrazione è maggiore di quello di incidenza. Ne segue che quando la luce si propaga, per esempio, in una massa d'acqua da S in O (fig. 292), vi è sempre un valore dell'angolo di incidenza SOB pel quale l'angolo di rifrazione AOR è retto, ossia pel quale

il raggio rifratto OR emerge parallelamente alla superficie dell'acqua.

Quest'angolo SOB si chiama *angolo limite*, perchè per ogni angolo d'incidenza maggiore, come POB, il raggio incidente PO non può dare origine a verun raggio rifratto. Infatti, siccome l'angolo AOR cresce coll'angolo SOB, il raggio OR si trova portato in OQ, cioè non vi è più rifrazione al punto O, ma avviene una riflessione interna, che chiamasi *riflessione totale*, perchè la luce incidente, non potendo escire dal primo mezzo, è riflessa in totalità. Dall'acqua all'aria l'angolo limite è di **48°, 35′**; dal vetro all'aria è di **41°, 48′**.

La riflessione interna si può constatare colla esperienza seguente; dinanzi ad un vase di vetro pieno d'acqua (figura **293**) si colloca un oggetto A: poi, guardando dall'altra parte del vase la superficie del liquido dal basso in alto, come mostra la figura, si vede in *a*, al di sopra del liquido, la immagine dell'oggetto A, la quale è formata dai raggi riflessi in *m*.

(1) 441. **Miraggio**. — Il *miraggio* è una illusione ottica che fa vedere al di sotto del suolo o nell'atmosfera l'immagine rovesciata degli oggetti lontani. Questo fenomeno si osserva di frequente nei paesi caldi, e particolarmente nelle sabbiose pianure dell'Egitto. Ivi il suolo presenta spesso l'aspetto di un lago tranquillo, che riflette gli alberi ed i villaggi circostanti. Questo fenomeno fu osservato fino dalla più remota antichità, ma il primo a darne la spiegazione fu Monge quando fece parte della spedizione d'Egitto.

Il miraggio è un fenonemo di rifrazione, che risulta dalla ineguale densità degli strati atmosferici quando sono dilatati pel loro contatto col suolo molto riscaldato. Allora, essendo gli strati inferiori i meno densi, un raggio luminoso, che si diriga da un oggetto elevato verso il suolo, attraversa degli strati sempre meno rifrangenti, perchè vedremo quanto prima (449) che uno stesso gas è tanto più rifrangente quanto più è denso. Ne risulta che l'angolo d'incidenza cresce da uno strato al seguente, e perviene a raggiungere l'angolo limite, oltre il quale in luogo della rifrazione avviene la riflessione interna (**440**). Il raggio allora si rialza, come mostra la figura **294**, e subisce una serie di rifrazioni successive in verso contrario delle prime, perchè passa in istrati sempre più rifrangenti. Esso giunge dunque all'occhio dell'osserva-

tore con quella stessa direzione che avrebbe se fosse partito da un punto situato al di sotto del suolo, e per ciò produce una immagine rovesciata dell'oggetto da cui fu emesso, come se fosse stato riflesso dalla superficie di un'acqua tranquilla.

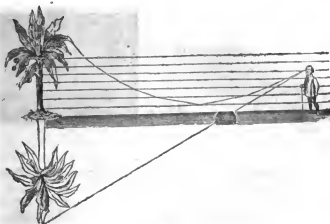



Fig. 294.

Talvolta i navigatori osservano nell'atmosfera l'immagine rovesciata delle spiaggie o delle navi lontane; è pur questo un effetto di miraggio, ma che producesi in verso contrario del primo, e solo nel caso in cui la temperatura del mare sia inferiore a quella dell'aria, perchè allora gli strati più bassi dell'atmosfera sono i più densi a motivo del loro contatto colla superficie delle acque.

TRASMISSIONE DELLA LUCE ATTRAVERSO AI MEZZI DIAFANI.

442. **Mezzi terminati da facce parallele.** — Quando la luce attraversa un mezzo terminato da facce parallele, i raggi *emergenti*, cioè i raggi che escono, sono paralleli ai raggi incidenti.

Per dimostrarlo, si rappresenti con MN (fig. 295) una lastra di vetro a facce parallele, con SA un raggio incidente, e con DB la sua direzione alla emergenza dal vetro: si chiamino i ed r gli angoli di incidenza e di rifrazione del raggio all'ingresso nel vetro, ed i', r' gli angoli di incidenza e di rifrazione all'emergenza dal vetro. La luce in A subisce una rifrazione

il cui indice è $\frac{sen\ i}{sen\ r}$ (§ 8). In D si rifrange un'altra volta, ed allora l'indice è $\frac{sen\ i'}{sen\ r'}$. Ora, si è veduto (438) che l'indice di rifrazione dal vetro all'aria è inverso dell'indice dall'aria al vetro, dunque si ha

$$\frac{sen\ i'}{sen\ r'} = \frac{sen\ r}{sen\ i}.$$

Fig. 295.

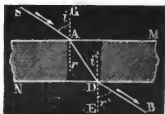
Ma siscome le due normali AG, DE sono parallele, gli angoli r ed i', come alterni interni, sono eguali. Per conseguenza, essendo eguali i numeratori delle due frazioni precedenti, saranno pure eguali i denominatori, e perciò gli angoli r' ed i sono eguali, d'onde si conchiude che la retta BD è parallela alla SA.

443. **Prismi.** — In ottica chiamasi *prisma* ogni mezzo trasparente terminato da due facce piane inclinate l'una all'altra. L'intersezione di queste due facce è una linea retta, che chiamasi *spigolo* del prisma, e l'angolo che esse comprendono dicesi *angolo rifrangente* del prisma. Ogni sezione perpendicolare allo spigolo dicesi *sezione principale*. D'ordinario, per le esperienze, si adoperano dei prismi triangolari retti di vetro (fig. 296); epperò la loro sezione principale è un triangolo (fig. 297). In questa sezione il punto A chiamasi *vertice* del prisma, e la retta

Fig. 296.

Fig. 297.

BC *base* del medesimo; le quali espressioni, geometricamente parlando, si possono applicare soltanto al triangolo ABC e non al prisma.

444. **Andamento dei raggi nei prismi.** — Quando si conoscano le leggi della rifrazione, è facile il determinare l'andamento della luce nei prismi. Infatti, sia O

(fig. 297) un punto luminoso od illuminato posto nel piano della sezione principale ABC di un prisma di vetro, e sia OD un raggio incidente. Questa raggio si rifrange in D, avvicinandosi alla normale, perchè entra in un mezzo più rifrangente, e prende una direzione DK, determinata dall' eguaglianza $\frac{sen\,i}{sen\,r} = {}^3/_2$, la quale dà l'angolo r, quando si conosca l'angolo i. In K il raggio subisce una seconda rifrazione, ma allora si allontana dalla normale perchè passa nell' aria, che è meno rifrangente del vetro, e prende una direzione KH, data dall'eguaglianza $\frac{sen\,i'}{sen\,r'}$ $^2/_3$ (438). Adunque la luce è deviata due volte nello stesso verso, e l'occhio che riceve il raggio emergente KH vede l'oggetto O in O'; cioè *gli oggetti veduti attraverso ad un prisma sembrano trasportati verso il vertice di questo.* La deviazione che il prisma fa subire in tal caso alla luce è misurata dall'angolo OEO' che forma il raggio emergente coll' incidente, e che chiamasi *angolo di deviazione.* Esso aumenta coll'indice di rifrazione del prisma, perchè i raggi si inflettono allora di più al loro ingresso nel prisma ed alla loro uscita. Vedremo più innanzi (445 e 446) che la deviazione dipende anche dall'angolo rifrangente del prisma e dalla grandezza dell'angolo di incidenza dei raggi.

Si osserva inoltre che gli oggetti veduti attraverso ai prismi sembrano dotati dei colori vivaci dell'iride; questo fenomeno sarà descritto fra poco sotto il nome di *dispersione.* (461).

445. Condizione di emergenza dai prismi. — I raggi luminosi che si sono rifratti alla prima faccia d'un prisma non possono emergere dalla seconda se non quando l'angolo rifrangente del prisma è minore del doppio dell'angolo limite della sostanza di cui il medesimo è formato.

Infatti, rappresentando con LI (fig. 298) il raggio incidente sulla prima faccia, con IE questo raggio dopo la rifrazione, con PI e PE le normali, si sa che il raggio IE non può emergere dalla seconda faccia se l' angolo di incidenza IEP non è minore dell' angolo limite (440). Ora, aumentando l' angolo d' incidenza NIL, avviene altrettanto dell' angolo EIP, ed invece l' angolo IEP diminuisce. Per conseguenza, quanto più la direzione del raggio LI si accosta ad essere parallela alla faccia AB, tanto più facilmente questo raggio potrà emergere dalla seconda faccia. Suppongasi adunque che

LI sia parallela ad AB; allora l'angolo r è eguale all'angolo limite l del prisma, cioè ha il suo valore massimo. D'altronde l'angolo EPK, esterno al triangolo IPE, eguaglia $r + i'$; ma gli angoli EPK ed A sono eguali perchè i loro lati sono rispettivamente perpendicolari, dunque $A = r + i'$, e perciò anche $A = l + i'$, perchè nel caso che consideriamo si ha $r = l$. Per conseguenza, se fosse $A = 2l$, ovvero $A > 2l$, si avrebbe $i' = l$, ovvero $i' > l$; dunque non vi potrebbe essere emergenza dalla seconda faccia, ma riflessione interna ed emergenza soltanto dalla terza faccia BC.

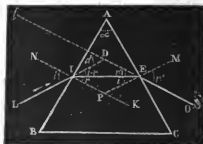



Fig 298.

A più forte ragione avverrà altrettanto dei raggi il cui angolo di incidenza sia minore di LIN, perchè si è veduto poc' anzi che in tal caso l'angolo i' va crescendo. Pertanto nel caso in cui l'angolo rifrangente del prisma sia eguale o maggiore di $2l$, non può passare alcun raggio luminoso attraverso alle facce di quest' angolo.

Siccome l'angolo limite del vetro è 41° 48', il doppio di quest'angolo è minore di 9 .°; d'onde si conchiude che non si possono vedere gli oggetti attraverso ad un prisma di vetro il cui angolo rifrangente sia retto. Invece

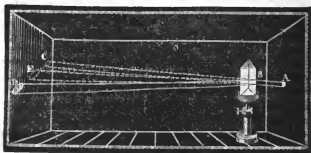



Fig. 299.

essendo 48° 35 l'angolo limite dell'acqua, la luce può ancora attraversare l'angolo retto d'un prisma cavo che fosse formato con tre lastre di vetro ed empito d'acqua.

Nel caso in cui l'angolo A sia minore di $2l$, vi è sempre emergenza dalla seconda faccia di una parte della luce incidente sulla prima, e la quantità di luce, che allora passa, dipende dall'incidenza dei raggi diretti LI. Se l'angolo A è compreso tra l e $2l$, può emergere una parte dei raggi incidenti compresi nell'angolo NIB, ma tutti quelli compresi nell'angolo NIA subiscono la riflessione totale sulla faccia AC. Per A $>$ 0 e $<$ l, possono passare tutti i raggi compresi nell'angolo NIB ed una parte di quelli posti nell'angolo NIA.

446. **Deviazione minima.** — Quando si riceve un fascio di luce solare attraverso ad un'apertura A praticata nell'imposta di una camera oscura (fig. 299), si osserva che il fascio va in linea retta da A in C a projettarsi sopra uno schermo lontano. Ma se tra l'apertura dell'imposta e lo schermo si interpone un prisma verticale, il fascio è deviato verso la base del prisma, e viene a projettarsi in D lungi dal punto C. Allora, facendo ruotare il sostegno del prisma in modo che l'angolo d'incidenza decresca, si vede il disco luminoso D avvicinarsi al punto C sino ad una certa posizione E, oltre la quale non si avanza; anzi se si continua a far girare il prisma nello stesso verso, si vede il disco retrocedere. Evvi dunque una deviazione EBC minore di tutte le altre. Si dimostra col calcolo che questa *deviazione minima* avviene quando gli angoli di incidenza e di emergenza sono eguali.

L'angolo di deviazione minima si può determinare col calcolo, quando si conoscano l'angolo d'incidenza e l'angolo rifrangente. Infatti, siccome nel caso di deviazione minima l'angolo di emergenza r' è eguale all'angolo di incidenza i (fig. 298), bisogna che sia $r = i'$. Ora si è veduto più sopra (445), che $A = r + i'$; dunque $A = 2r$ (1). Ciò posto, se si rappresenta con d l'angolo di deviazione minima l D L, siccome quest'angolo è esterno al triangolo DiE, si trova facilmente l'equazione

$$d = i - r + r' - i' = 2i - 2r, \text{ ossia } d = 2i - A \ (2),$$

la quale dà l'angolo d quando siano noti gli angoli i ed A.

Dalle formole (1) e (2) se ne deduce una terza, la quale serve a calcolare l'indice di rifrazione d'un prisma, quando se ne conosca l'angolo rifrangente e la deviazione minima. Infatti, siccome l'indice di rifrazione è il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione, rappresentandolo con n si ha $n = \frac{sen\ i}{sen\ r}$, e, sostituendo ad i e ad r i loro valori cavati dalle formole precedenti (1) e (2), risulta

$$n = \frac{sen\left(\frac{A+d}{2}\right)}{sen\ \frac{A}{2}} \quad (3).$$

447. **Misura dell'indice di rifrazione dei solidi.** — Per mezzo della formola (3) suesposta, si calcola facilmente l'indice di rifrazione quando siano noti gli angoli A e d.

Per determinare innanzi tutto l'angolo A, si taglia in forma di prisma triangolare la sostanza trasparente di cui si vuole conoscere l'indice di rifrazione, poi si misura l'angolo A del prisma per mezzo di un *goniometro* (434).

L'angolo d si misura nel seguente modo: si riceve sul prisma un raggio LI emesso da un oggetto lontano (fig. 300), e si fa ruotare il prisma in modo da ottenere la deviazione minima ED. Allora, misurando con un grafometro a cannocchiale l'angolo EDL', che fa il raggio rifratto DE col raggio DL'

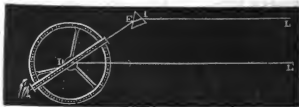



Fig. 300.

proveniente direttamente dall'oggetto, quest'angolo non è altro che la deviazione minima, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano perchè i due raggi LI ed L'D riescano sensibilmente paralleli. Da ultimo non rimane che a sostituire i valori di A e di d nella formola (3), per poterne dedurre il valore dell'indice n.

Questo processo, il quale è dovuto a Newton, non può essere applicato che ai corpi trasparenti; ma Wollaston fece conoscere un altro metodo col quale si può calcolare l'indice di rifrazione di un corpo opaco per mezzo della determinazione del suo angolo limite.

448. **Misura dell'indice di rifrazione dei liquidi.** — Biot ha applicato il metodo di Newton, cioè quello della deviazione minima, alla ricerca degli indici di rifrazione dei liquidi. Per ciò, in un prisma di vetro PQ (fig. 301) si pratica una cavità cilindrica O di circa due centimetri di diametro, e che si stende dalla faccia di incidenza a quella di emergenza. Questa cavità si chiude con due piastre di vetro a facce esattamente parallele, le quali si applicano sulle facce del prisma. Una piccola apertura B, che si chiude con un turacciolo smerigliato, serve ad introdurre il liquido. Dopo avere de-

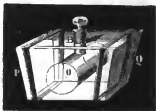



Fig. 301.

terminato l'angolo rifrangente e la deviazione minima del prisma liquido contenuto nella cavità O, si introducono i valori di questi angoli nella formola (3) del paragrafo 446 e se ne deduce il valore dell'indice.

449. **Misura dell'indice di rifrazione dei gas.** — Collo stesso metodo di Newton fu pure determinato l'indice di rifrazione dei gas da Biot ed Arago. L'apparato di cui si servirono questi fisici è composto di un tubo

di vetro AB (fig. 302), tagliato ad ugnatura alle due estremità e chiuso da due lastre di vetro a facce parallele, inclinate tra loro di 143°. Questo tubo comunica da una banda con una campana H nella quale trovasi un barometro a sifone, e dall'altra con una chiavetta, che si adopera quando si vuol fare il vuoto nell'apparato e chiudervi in seguito diversi gas. Vuotato il tubo AB, lo si fa attraversare da un raggio di luce SA, il quale, alla prima incidenza, si allontana dalla normale d'una quantità $r - i$, e si avvicina alla normale di una quantità $i' - r'$ alla seconda incidenza. Siccome queste due deviazioni si sommano, così la deviazione totale d è $r - i + i' - r'$. Ora, nel caso della deviazione minima, si ha $i = r'$ ed $r = i'$, onde

$$d = A - 2i, \text{ perchè } r + i' = A \ (441).$$

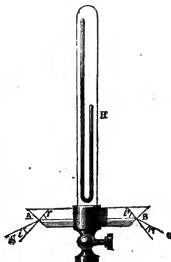
Adunque l'indice dal vuoto all'aria, che è evidentemente $\frac{sen\ r}{sen\ i}$, ha per valore

$$\frac{sen\ \frac{A}{2}}{sen\left(\frac{A - d}{2}\right)} \quad (4).$$

Fig. 302.

Basta pertanto conoscere l'angolo rifrangente A e l'angolo di deviazione minima d per dedurne l'indice di rifrazione dal vuoto all'aria, il qual indice dicesi *assoluto* o *principale*.

Per ottenere l'indice assoluto di un gas diverso dall'aria, dopo aver fatto il vuoto nell'apparecchio vi si introduce questo gas, indi si misurano gli angoli A e d: la formola (4) precedente fa conoscere l'indice di rifrazione dal gas all'aria. E siccome si conosce già l'indice dal vuoto all'aria, il rapporto di questi due indici dà l'indice di rifrazione dal vuoto al gas proposto, cioè il suo indice assoluto.

Col mezzo di questo apparecchio, Biot ed Arago hanno constatato che l'indice di rifrazione dei gas è sempre piccolissimo a fronte di quello dei solidi e dei liquidi, e che per uno stesso gas la *potenza rifrattiva* è proporzionale alla densità, intendendosi per potenza rifrattiva di una sostanza il quadrato del suo indice di rifrazione diminuito di una unità, cioè il valore dell'espressione $n^2 - 1$. Il quoziente della potenza rifrattiva per la densità si chiama *potere rifrangente*.

Indici di rifrazione relativamente all'aria.

SOSTANZE	INDICI	SOSTANZE	INDICI
Cromato di piombo.	2,50 a 2,97	Ossidiana	1,488
Diamante	2,47 a 2,75	Ghiaccio	1,310
Vetro di antimonio .	2,216	Solfuro di carbonio	1,678
Solfo nativo	2 215	Olio essenziale di amandorle amare	1,603
Tormalina	1,668	Olio di nafta . . .	1,475
Spato d' Islanda, rifrazione ordin.	1,654	Essenza di trementina	1,470
— — rif. straord.	1.483	Alcoole rettificato .	1,374
Berillo.	1,598	Etere solforico . . .	1·358
Flint-glass	1,575	Albumina	1.351
Cristallo di rocca .	1,547	Umor cristallino . .	1.384
Salgemma.	1,545	Umor vitreo	1,339
Zuccaro	1 535	Umor acqueo	1,337
Balsamo del Canadà	1,532	Acqua	1,336
Crown-glass	1,5 0		

Questi indici furono presi relativamente al fascio giallo dello spettro, eccetto quelli dello zuccaro e del crown, che furono presi relativamente al rosso estremo.

LENTI, LORO EFFETTI.

450. **Diverse specie di lenti.** — Si chiamano *lenti* certi mezzi diafani, che, attesa la curvatura della loro superficie, hanno la proprietà di rendere convergenti o divergenti i fasci luminosi paralleli che gli attraversano. A norma del genere di curvatura, le lenti si denominano sferiche, cilindriche, ellittiche, paraboliche. Negli strumenti di ottica si usano soltanto le lenti sferiche, che si costruiscono generalmente di *crown*, vetro il quale non contiene piombo, o di *flint*, vetro con piombo e più rifrangente del crown.

Combinando le superficie sferiche tra loro o con superficie piane, si formano sei specie di lenti rappresentate in sezione nella figura 303, dove quattro sono limitate da due superficie sferiche, e le altre due da una superficie piana ed una sferica.

La prima A si chiama *bi-convessa;* la seconda B *pianoconvessa;* la terza C *concavo-convessa convergente;* la quarta

D *bi-concava*; la quinta E *piano-concava*, e l'ultima F *concavo-convessa divergente.* La lente C si chiama anche *menisco convergente* e la lente F *mensico divergente.*

Le prime tre, le quali sono più grosse al centro che ai

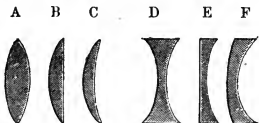



Fig. 303.

margini, sono *convergenti;* le ultime, più sottili al centro che ai margini, sono *divergenti.* Nel primo gruppo basta considerare la lente bi-convessa, e nel secondo la bi-concava, perchè le proprietà di ciascuna di queste lenti si applicano rispettivamente a quelle del medesimo gruppo.

Nelle lenti le cui superficie sono ambedue sferiche si chiamano *centri di curvatura* i centri di queste superficie, e la retta indefinita che passa per questi due centri dicesi *asse principale.* Nelle lenti piano-concave e piano-convesse l'asse principale è la perpendicolare condotta alla faccia piana dal centro della faccia sferica.

Per poter paragonare l'andamento dei raggi luminosi nelle lenti a quello che essi seguono nei prismi, si fa la stessa ipotesi che per gli specchi curvi (423), cioè si suppongono le superficie delle lenti formate da un indefinito numero di elementi piani infinitamente piccoli. Pertanto, la *normale* in un punto qualunque è la perpendicolare al piano tangente che contiene l'elemento corrispondente; e tutte le normali alla superficie della lente, che è sferica, passano pel suo centro. Nell'ipotesi ora enunciata si possono sempre immaginare ai punti di incidenza e di emergenza due superficie piane più o meno inclinate tra loro e che producono per tal modo l'effetto del prisma. Continuando questo confronto, si possono paragonare le tre lenti A, B, C ad una serie di prismi riuniti colle loro basi, e le lenti D, E, F ad una serie di prismi riuniti coi loro vertici, il che dimostra come quelle debbano ravvicinare i raggi gli uni agli altri e queste allontanarli, per-

chè si è veduto che un raggio luminoso, il quale attraversi un prisma, è deviato verso la base di esso (444).

451. **Fuochi nelle lenti bi-convesse.** — Nelle lenti, come negli specchi, i *fuochi* sono punti in cui concorrono i raggi rifratti od i loro prolungamenti. Le lenti bi-convesse presentano le stesse specie di fuochi degli specchi concavi, cioè dei fuochi reali e dei fuochi virtuali.

1.° *Fuochi reali.* — Consideriamo dapprima, come si fece per gli specchi, il caso in cui i raggi luminosi, che cadono sulla lente, siano paralleli al suo asse principale, come rappresenta la figura 304.

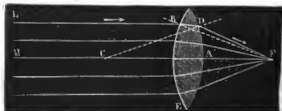



Fig. 304.

In questo caso ogni raggio incidente LB, avvicinandosi alla normale al punto d'incidenza B, ed allontanandosene al punto di emergenza D, si ripiega due volte verso l'asse e lo interseca in un punto F. Siccome tutti i raggi paralleli all'asse si rifrangono nello stesso modo, così vengono a passare tutti sensibilmente per lo stesso punto F, purchè l'arco DE non sorpassi 10 o 12 gradi. Questo punto è il *fuoco principale*, e la distanza FA è la *distanza focale principale*. Essa è costante per una medesima lente, ma variabile coi raggi di curvatura e coll'indice di rifrazione. Nelle lenti ordinarie, che sono di crown ed hanno le superficie di curvatura eguali, il fuoco principale coincide quasi col centro di curvatura.

Sia ora il caso in cui l'oggetto luminoso, essendo al di là del fuoco principale, si trovi abbastanza avvicinato perchè tutti i raggi incidenti formino un fascio divergente come rappresenta la figura 305. Allora, rappresentando con L il punto da cui emanano i raggi luminosi e confrontando l'andamento del raggio divergente LB con quello del raggio SB parallelo all'asse, si riconosce che il primo fa colla normale un angolo LB*n* maggiore del-

l'angolo SBn, e però anche l'angolo di rifrazione corrispondente deve essere maggiore di quello dell'altro; d'onde risulta che, dopo avere attraversata la lente, esso incontra

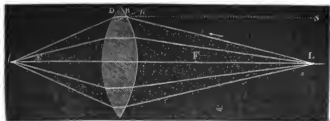



Fig. 305.

l'asse in un punto l al di là del fuoco principale F. Siccome i raggi partiti da L vengono tutti così a concorrere sensibilmente nello stesso punto l, quest'ultimo è il *fuoco conjugato* di L. Questa denominazione esprime qui, come per gli specchi, la relazione che esiste tra i due punti L ed l, relazione per la quale, se il punto luminoso è recato in l, il suo fuoco passa reciprocamente in L.

Di mano in mano che l'oggetto L si avvicina alla lente, la divergenza dei raggi aumenta, ed il fuoco l si allontana; quando l'oggetto L coincide col fuoco principale, i raggi emergenti dall'altro lato della lente sono paralleli all'asse, ed allora non v'è più fuoco, o, ciò che è lo stes-

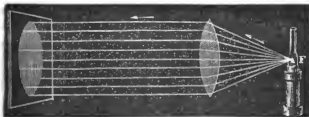



Fig. 306.

so, trovasi il fuoco a distanza infinita. In questo caso, siccome i raggi rifratti sono paralleli, l'intensità della luce rimane quasi costante, di modo che una sola lampada può allora illuminare a grande distanza. Perciò la si colloca al fuoco principale di una lente bi-convessa, come mostra la figura 306.

2.° *Fuochi virtuali.* — Colle lenti bi-convesse il fuoco

è virtuale quando l'oggetto luminoso L è collocato tra la lente ed il fuoco principale, come si vede nella figura 307 In questo caso, siccome i raggi incidenti, come LI, for-

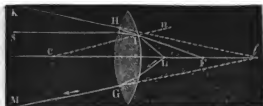



Fig. 307.

mano colla normale degli angoli maggiori di quelli formati dai raggi analoghi ad FI emessi dal fuoco principale, ne segue che dopo l'emergenza i primi di questi raggi si allontanano dall'asse più degli ultimi, e costituiscono un fascio divergente HKGM. Adunque questi raggi non possono formare alcun fuoco reale, ma i loro prolungamenti concorrono in uno stesso punto *l* situato sull'asse, il qual punto è il fuoco virtuale del punto L (418). Più il punto L è vicino alla lente, e più il suo fuoco virtuale *l* è vicino al fuoco principale F; ma se L si avvicina ad F, *l* se ne allontana.

452. **Fuochi nelle lenti bi-concave.** — Colle lenti bi-concave non si formano che fuochi virtuali, qualunque sia la posizione dell'oggetto. Infatti, si consideri dapprima un fascio di raggi paralleli all'asse: un raggio qualunque SI (fig. 308) si rifrange al punto d'incidenza I avvicinan-

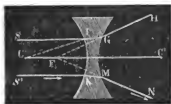



Fig. 308.

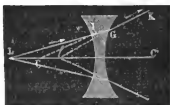



Fig. 309.

dosi alla normale CI; al punto di emergenza G si rifrange di nuovo, ma si allontana dalla normale GC', in modo che si piega due volte nello stesso verso allontanandosi sempre dall'asse CC'. Siccome altrettanto accade di qualsiasi altro raggio S'KMN, ne segue che i raggi, dopo di

avere attraversata la lente, formano un fascio divergente GHMN. Non può dunque esservi fuoco reale, ma i prolungamenti di questi raggi si incontrano in un punto F, che è il fuoco virtuale principale.

Nel caso in cui i raggi partano da un punto L (fig. 309) situato sull'asse, si riconosce, mediante la stessa costruzione, che si forma un fuoco virtuale in *l*, posto tra il fuoco principale e la lente.

453. **Determinazione sperimentale del fuoco principale delle lenti.** — Per determinare il fuoco principale di una lente bi-convessa, basta esporla ai raggi solari in modo che il suo asse principale sia parallelo ai medesimi. Allora, ricevendo il fascio emergente sopra un diaframma di vetro smerigliato, si determina facilmente il punto in cui vengono a concorrere i raggi, e questo punto è il fuoco principale.

Se la lente è bi-concava, se ne copre la faccia *a*D*b* (fig. 310) con un corpo opaco, per esempio con del nero di fumo, lasciando in uno stesso piano meridiano, e ad

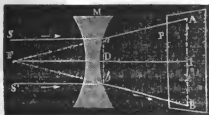



Fig. 310.

eguali distanze dall'asse, due piccoli dischi *a* e *b* non anneriti, i quali permettano il passaggio alla luce; poi sull'altra faccia della lente si riceve un fascio di luce solare parallelo all'asse, e si muove all'innanzi o all'indietro il diaframma P su cui cadono i raggi emergenti, sino a tanto che le immagini A e B delle piccole aperture *a* e *b* riescano distanti l'una dall'altra del doppio di *ab*. Allora l'intervallo DI è la distanza focale richiesta, perchè dalla similitudine dei triangoli F*ab* ed FAB risulta che DI è eguale ad FD.

454. **Centro ottico, assi secondarii.** — Per ogni lente esiste un punto denominato *centro ottico*, situato sull'asse e dotato della proprietà che ogni raggio luminoso il quale passi per questo punto non subisce alcuna deviazione angolare, cioè emerge in direzione parallela a

quella di incidenza. Per dimostrare l'esistenza di questo punto in una lente bi-convessa, si conducano dai centri della medesima alla superficie due raggi di curvatura paralleli CA e C'A' (fig. 311). Siccome i due elementi piani della superficie della lente in A ed in A' sono paralleli tra loro, perchè perpendicolari a due rette parallele, ne risulta che qualunque raggio KA, che si propaghi nella lente secondo AA', attraversa realmente un mezzo a facce parallele, e quindi esce senza subire deviazione, cioè secondo una direzione A'K' parallela ad AK (442). Ora, il punto O, ove questo raggio taglia l'asse, è costante; ossia esso è sempre lo stesso qualunque siano i due elementi paralleli A, A' che si considerano. Infatti, se i due raggi di curvatura CA e C'A' sono eguali, e questo è il caso generale, sono pure eguali i due triangoli CAO e C'AO. e si ha CO = C'O; e ciò mostra che, in questo caso, il

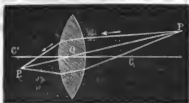
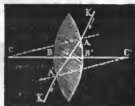



Fig. 311. *Fig.* 312.

punto O è il mezzo di CC'. Se i raggi di curvatura CA e C'A' sono disuguali, i due triangoli COA e C'OA*i* non sono più eguali, ma sono simili, e si ha $\frac{CA}{C'A'} = \frac{CO}{C'O}$.

Ora, essendo invariabile il rapporto $\frac{CA}{C'A'}$, qualunque siano i due elementi paralleli A,A', si vede che è pure invariabile il rapporto $\frac{CO}{C'O}$; ossia la posizione del punto O è ancora costante, solchè questo punto non è più equidistante dai punti C e C'. Il punto O è quindi il *centro ottico* della lente. In tutti i casi lo si determina tirando due raggi di curvatura paralleli CA e C'A' e congiungendo le loro due estremità con una retta AA'.

Nelle lenti bi-concave e nelle concavo-convesse il cen-

tro ottico si determina con costruzione simile alla precedente. Nelle lenti che hanno una faccia piana questo punto trovasi alla intersezione dell'asse colla superficie curva.

Ogni retta PP″ (312) che passi pel centro ottico, senza passare pei centri di curvatura, è un *asse secondario*. Attesa la proprietà del centro ottico, ogni asse secondario rappresenta un raggio luminoso che passa per questo punto, perchè, a motivo della piccola grossezza delle lenti, si può ammettere che i raggi passanti pel centro ottico rimangano rettilinei, cioè si può trascurare la piccola deviazione che subiscono i raggi, restando pur sempre paralleli, quando attraversano obliquamente un mezzo terminato da facce parallele (fig. 295 pag. 452).

Fino a che gli assi secondarii formano coll'asse pricipale un piccolo angolo, si può applicare ai medesimi quanto finora si è detto dell'asse principale. Cioè i raggi emessi da un punto P (fig. 312) situato sull'asse secondario PP′ vengono a concorrere molto approssimativamente in uno stesso punto P′ di quest'asse, ed il fuoco così formato è conjugato o virtuale secondo che la distanza del punto P dalla lente è maggiore o minore della distanza focale principale. Questo principio è il fondamento di quanto segue sulla formazione delle immagini.

455. Formazione delle immagini nelle lenti bi-convesse. — Nelle lenti, come negli specchi, la immagine di un oggetto è il complesso dei fuochi di ciascuno dei suoi punti; d'onde risulta che le immagini presentate dalle lenti sono reali o virtuali nelle stesse circostanze in cui lo sono i fuochi, e che la costruzione di esse immagini si riduce alla ricerca di una serie di punti, come si è già veduto parlando degli specchi (427).

1.° *Immagine reale.* — Si consideri dapprima il caso in cui davanti ad una lente bi-convessa trovisi un oggetto AB (fig. 313), collocato al di là del fuoco principale. Se dal punto estremo A si conduce l'asse secondario A*a*, qualsiasi raggio AC emesso da questo punto si rifrange in C e in D due volte nello stesso verso, avvicinandosi cioè all'asse secondario, che esso interseca in *a*: e poichè anche gli altri raggi emessi dal punto A, dietro ciò che si è detto nel paragrafo precedente, si riuniscono in *a*, questo punto è il fuoco conjugato del punto A. Ora, se si traccia l'asse secondario pel punto B, si trova parimenti che i raggi emessi da questo punto vanno a for-

mare il loro fuoco in *b;* e siccome i punti situati tra A e B hanno evidentemente i loro fuochi tra *a* e *b*, si forma in *ab* un'immagine *reale e rovesciata* dell'oggetto AB.

Per vedere questa immagine, bisogna riceverla sopra

Fig. 313.

un diaframma bianco che la riflette, ovvero collocar l'occhio nella direzione dei raggi emergenti.

Reciprocamente, se *ab* fosse l'oggetto luminoso od illuminato che emette i raggi, la sua immagine si produrrebbe in AB. Ne derivano queste due conseguenze importanti per la teoria degli strumenti d'ottica, che verranno descritti in appresso: 1.ª *Se un oggetto, anche grandissimo, è molto lontano da una lente bi-convessa, l'immagine reale e rovesciata, che se ne ottiene, è piccolissima, assai vicina al fuoco principale ed alquanto al di là di questo punto, partendo dalla lente;* 2.ª *reciprocamente, se un oggetto piccolissimo è collocato vicino al fuoco principale, ma un poco al di là, la sua immagine si forma ad una grande distanza ed è ingrandita tanto più quanto più l'oggetto è vicino al fuoco principale.* Queste due conseguenze si possono constatare facilmente coll'esperienza, ricevendo sopra un diaframma l'immagine della fiamma d'una candela collocata successivamente a differenti distanze al di là d'una lente bi-convessa.

2.° *Immagine virtuale.* — Consideriamo ora il caso in cui l'oggetto AB (fig. 314) è collocato tra la lente e il di lei fuoco principale. Se si conduce dal punto A l'asse secondario O*a*, qualsiasi raggio AC, dopo essersi rifratto due volte, emerge divergente rispetto a quest'asse, perchè il punto A è collocato ad una distanza minore della distanza focale principale (451). Adunque questo raggio, prolungato in verso contrario, incontra l'asse O*a* in un punto *a* che è il fuoco virtuale del punto A. Tracciando l'asse secondario pel punto B, si trova parimenti che il

fuoco virtuale di questo si forma in *b*. Pertanto in *ab* si ha l'immagine di AB. *Questa immagine è diritta, virtuale e più grande dell'oggetto.*

Le lenti bi-convesse, adoperate per tal modo come vetri d'ingrandimento, prendono il nome di *lenti* o di *microscopii semplici*. Per misura dell'*ingrandimento* si prende il rapporto della grandezza dell'immagine *ab* a quella dell'oggetto AB. Quest'ingrandimento è tanto più conside-

Fig. 314.

rabile, quanto più convessa è la lente e l'oggetto più vicino al fuoco principale. Al paragrafo *Microscopio semplice* (473) si vedrà come si possa prendere, per valore approssimativo dell'ingrandimento, il rapporto della distanza della visione distinta alla distanza focale della lente; al paragrafo *Micrometro* poi si vedrà come lo si determini sperimentalmente (475). Finalmente, si può anche dedurlo dal calcolo per mezzo della formola delle lenti (460).

456. **Formazione delle immagini nelle lenti bi-concave**. — Le lenti bi-concave, come gli specchi convessi, non danno che delle immagini virtuali, qua-

Fig. 315.

lunque sia la distanza dell'oggetto. Suppongasi, difatti, collocato un oggetto AB (fig. 315) davanti ad una di

queste lenti. Se si conduce dapprima dal punto A l'asse secondario, tutti i raggi AC, AI, emessi da questo punto, si rifrangono due volte nello stesso verso allontanandosi dall'asse AO; talmente che l'occhio, ricevendo i raggi emergenti DE e GH, li giudica partiti dal punto in cui i loro prolungamenti incontrano in *a* l'asse secondario AO. Parimenti, conducendo l'asse secondario pel punto B, la luce emessa da questo punto forma un fascio di raggi divergenti, le cui direzioni concorrono in *b*. L'occhio vede adunque in *ab* una immagine virtuale di AB, *la quale è sempre diritta e più piccola dell'oggetto.*

457. **Regola generale per la costruzione delle immagini nelle lenti.** — Esporremo qui una regola per la costruzione delle immagini prodotte colle lenti, analoga a quella già data (429) per gli specchi; ma importa innanzi tutto osservare, che siccome un punto situato nell'asse principale ha la sua immagine in quest'asse, così un punto posto in un asse secondario ha del pari la sua immagine sull'asse secondario medesimo. Osserviamo inoltre che l'immagine viene prodotta da raggi, che si intersecano soltanto allorchè sieno partiti da uno stesso punto, mentre raggi provenienti da punti diversi, ancorchè si incontrino, non danno immagine. Ciò posto, considerando dapprima il caso di una lente bi-convessa e supponendo l'oggetto collocato al di là del fuoco principale partendo dalla lente, l'immagine si ottiene colla costruzione seguente:

1.° *Pel punto dato e pel centro ottico della lente si conduca l'asse secondario;* 2.° *si conduca dal punto dato un raggio incidente sulla lente;* 3.° *si unisca il punto di incidenza col centro di curvatura corrispondente per mezzo di una retta, che rappresenta la normale;* 4.° *si conduca il raggio rifratto che si avvicinerà alla normale, e la cui direzione si determinerà dietro il valore dell'indice di rifrazione dall'aria al vetro;* 5.° *si conduca la normale nel punto di emergenza;* 6.° *finalmente, si segni il raggio emergente, il quale si allontanerà dalla normale e la cui direzione si determinerà col mezzo dell'indice di rifrazione dal vetro all'aria. Il punto in cui il raggio emergente incontra l'asse secondario è il luogo dell'immagine del punto dato.* Applicando la stessa costruzione a ciascuno dei punti di un oggetto collocato davanti ad una lente, se ne otterrà sempre l'immagine.

Se l'oggetto è collocato tra la lente e il suo fuoco prin-

cipale, si fanno ancora le stesse costruzioni; in tal caso però l'asse non è più incontrato dai raggi emergenti ma dai loro prolungamenti. La stessa osservazione si applica alle lenti bi-concave.

458. **Aberrazione di sfericita', caustiche.** — Nella teoria dei fuochi e delle immagini presentate dalle diverse specie di lenti sferiche si suppose fin qui che i raggi emessi da uno stesso punto, dopo la loro rifrazione, si riunissero quasi precisamente in un punto solo. Così avviene, di fatti, allorquando l'apertura della lente, cioè l'angolo che si ottiene unendo i suoi margini opposti al fuoco, non sorpassa 10 o 12 gradi. Per un'apertura maggiore, i raggi che attraversano la lente presso ai margini hanno il loro punto di riunione meno lontano dalla lente di quelli che la attraversano presso all'asse; ossia si produce un fenomeno analogo a quello che si è notato negli specchi (433), sotto il nome di aberazione di sfericità per riflessione, e che qui si indica col nome di *aberrazione di sfericità per rifrazione*. Le superficie lucenti, che in conseguenza di esse sono formate nello spazio dalle intersezioni successive dei raggi rifratti, si chiamano *caustiche per rifrazione*.

L'aberrazione di sfericità è nociva alla chiarezza delle immagini. Si ovvia a questo inconveniente delle lenti, collocando innanzi ad esse dei diaframmi aventi un'apertura centrale in modo di lasciare libero passaggio ai raggi che si presentano verso il centro e di trattenere quelli che tendono a rifrangersi presso ai margini. Dei resto, combinando due lenti di opportune curvature, si giunge a distruggere l'aberrazione di sfericità.

459. **Formole relative alle lenti.** — Per qualsiasi lente, si può tradurre in equazione la relazione che sussiste tra la distanza focale, quella

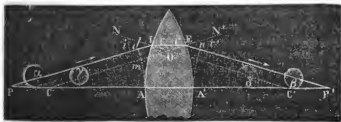



Fig. 316.

dell'oggetto, il raggio di curvatura e l'indice di rifrazione della sostanza di cui è formata la lente. Si consideri dapprima il caso di una lente bi-convessa, e si rappresenti con P un punto luminoso situato sull'asse principale (fig 316), con PI un raggio incidente, con IE la sua direzione nell'interno della lente, con EP' il raggio emergente, di modo che P' sarà il fuoco coniugato di P. Siano inoltre C'I e CE le normali nei punti di incidenza e di emergenza, e si denomini IPA $= \alpha$, EP'A' $= \beta$, ECA' $= \gamma$, IC'A $= \delta$, NIP $= i$, EIO $= r$, IEO $= i'$, N'EP' $= r'$.

Siccome gli angoli i ed r' sono esterni, l'uno al triangolo PIC', l'altro al triangolo CEP', si ha $i = \alpha + \delta$ ed $r' = \gamma + \beta$, d'onde

$$i + r' = \alpha + \beta + \gamma + \delta \ (1).$$

Ora, al punto I si ha $sen\ i = n\ sen\ r$, ed al punto E $sen\ r' = n\ sen\ i'$ (438); ma, supponenendo l'arco AI di un piccolissimo numero di gradi, altrettanto è degli angoli i, r, i' ed r', e si possono sostituire, nelle formole precedenti ai seni i loro archi, onde si ha $i = nr$ ed $r' = ni'$, da cui $i + r'\ n(r + i')$. D'altronde, essendo eguali gli angoli O dei due triangoli IOE e COC', si ha $r + i' = \gamma + \delta$, epperò $i + r' = n(\gamma + \delta)$. Sostituendo questo valore nell'equazione (1), risulta

$$n(\gamma + \delta) = \alpha + \beta + \gamma + \delta, \text{ ovvero } (n - 1)(\gamma + \delta) = \alpha + \beta \ (2).$$

Ciò posto, se si immagina che gli archi α e γ siano descritti coi centri P e C e con raggio eguale all'unità, e se col centro in P e raggio PA si descrive l'arco dA, si hanno le proporzioni

$$\alpha : Ad = 1 : PA \text{ e } \gamma . A'E = 1 : CA', \text{ da cui si cava}$$

$$\alpha = \frac{Ad}{AP} \text{ e } \gamma = \frac{A'E}{CA'}; \text{ ovvero, ponendo } AP = p, CA' = R,$$

e sostituendo all'arco Ad l'arco AI, che gli è sensibilmente eguale,

$$\alpha = \frac{AI}{p}, \gamma = \frac{A'E}{R'}$$

Per l'altra faccia della lente, se si suppongono parimenti descritti gli archi β e δ con raggio eguale all'unità, e si immagina descritto con raggio P'A' l'arco A'n, ponendo C'A = R' ed A'P' = p', si ha parimenti

$$\delta = \frac{AI}{R'} \text{ e } \beta = \frac{A'n}{A'P'} = \frac{A'E}{p'}.$$

Sostituendo questi valori nell'equazione (2), si ottiene

$$(n - 1)\left(\frac{A'E}{R} + \frac{AI}{R'}\right) = \frac{AI}{p} + \frac{A'E}{p'}.$$

Se pertanto si ammette che gli archi A'E ed AI siano eguali, il che è tanto più prossimo al vero quanto meno si scostano dall'asse i raggi incidenti, si può sopprimere il fattore comune A'E, ovvero AI, e si ha:

$$(n - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p'} \ (3).$$

Questa è la formola per le lenti bi-convesse. Ponendovi $p = \infty$, si trova:

$$\frac{1}{p'} = (n - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right),$$

ove p' indica in tal caso la distanza focale principale. Rappresentandola con f si ha

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) \ (4),$$

dalla quale equazione è facile dedurre il valore di f. Avuto riguardo alla formola (4), la formola (3) diventa

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad (5),$$

che è la più comunemente adoperata.

Quando l'immagine è virtuale, p' cangia di segno e la formola (5) diviene:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad (6).$$

Nelle lenti bi concave p' ed f conservano lo stesso segno, ma cangia quello di p', ed allora la formola (5) si cangia nella seguente

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f} \quad (7).$$

Del resto la formola (7) potrebbe ottenersi direttamente con ragionamenti simili a quelli svolti più sopra.

460. **Misura dell'ingrandimento.** — L'ingrandimento che dà una lente semplice si deduce facilmente dalla formola (6) precedente, la quale si applica all'immagine virtuale. Infatti, rappresentando AB l'oggetto la cui immagine si forma in ab (fig. 314), se si suppongono condotte le rette AB ed ab si hanno due triangoli simili, Oab ed OAB, i quali danno $\frac{ab}{AB} = \frac{p'}{p}$. Ora l'ingrandimento non è altro che il rapporto $\frac{ab}{AB}$; dunque esso può anche esprimersi col rapporto $\frac{p'}{p}$. Ma dall'equazione (6) $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, si deduce $\frac{p'}{p} + = 1 \frac{p'}{f}$; d'onde si vede che l'ingrandimento è tanto maggiore, quanto più è piccola la distanza focale, ossia quanto più è convergente la lente, e quanto più grande è la distanza p', o, ciò che è lo stesso, quanto più lontano si forma l'immagine. Nondimeno si vedrà che esiste un limite alla distanza p' e che è quello della visione distinta dell'osservatore (503).

CAPILOLO IV.

DISPERSIONE ED ACROMATISMO.

461. **Decomposizione della luce bianca, spettro solare.** — Il fenomeno della rifrazione non è così semplice come abbiamo finora supposto: quando la luce *bianca*, cioè quella che ci giunge dal sole, passa da un mezzo all'altro non è soltanto deviata ma è anche *decomposta in parecchie specie di luce*, il qual fenomeno si denota col nome di *dispersione*.

Per dimostrare che la luce bianca è decomposta per effetto della rifrazione, si riceve nella camera oscura un fascio di luce solare SA (fig. 317), attraverso ad una piccolissima apertura praticata nell'imposta. Questo fascio

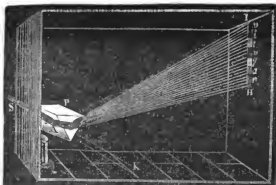



Fig. 317.

tende a formare in K un'immagine del sole rotonda ed incolora; ma se s'interpone sul suo passaggio un prisma di flint, P, collocandolo in modo che i suoi spigoli siano orizzontali, il fascio, all'ingresso ed all'uscita dal prisma, si rifrange verso la base di esso, ed in luogo di una immagine rotonda ed incolora si riceve sopra uno schermo lontano un'immagine H, la quale nella direzione orizzontale ha la stessa dimensione del fascio primitivo, ma è oblunga in direzione verticale e colorata delle belle tinte dell'arcobaleno. Questa immagine colorata chiamasi *spettro solare*. Nello spettro solare trovansi realmente innumerevoli tinte, ma se ne distinguono 7 principali; partendo dalla più rifrangibile, esse sono disposte nell'ordine seguente: violetto, indaco, turchino, verde, giallo, ranciato, rosso. Questi colori non hanno tutti una eguale estensione nello spettro; il violetto è il più esteso, ed il ranciato lo è meno di tutti.

Con prismi diafani di differenti sostanze, o con prismi di vetro cavi riempiti di diversi liquidi, si ottengono costantemente degli spettri formati cogli stessi colori e disposti nello stesso ordine; ma, a pari angolo rifrangente, la lunghezza dello spettro varia colla sostanza di cui consta il prisma. Quelle che le danno maggiore estensione diconsi più *dispersive*, e la dispersione si misura colla dif-

ferenza degli indici di rifrazione dei raggi estremi dello spettro. Pel flint questa differenza è 0,0433, pel crown è 0,0246; adunque la dispersione del flint è quasi doppia di quella del crown.

Per prismi della stessa sostanza la dispersione decresce coll'angolo rifrangente del prisma; infatti, se quest'angolo fosse nullo, le facce d'incidenza e di emergenza sarebbero parallele e la luce non verrebbe decomposta.

Negli spettri forniti dalle luci artificiali non si osservano colori diversi da quelli dello spettro solare, ed il loro ordine è lo stesso; ma ne manca generalmente qualcuno. Anche la loro intensità relativa è assai modificata. La tinta che predomina in una fiamma artificiale è pur quella che prevale nello spettro che da essa si ottiene. Le fiamme gialle, rosse, verdi danno degli spettri in cui la tinta predominante è rispettivamente il giallo, il rosso, il verde.

Per produrre uno spettro solare i cui sette colori principali siano ben distinti, l'apertura per la quale entra la luce solare deve avere soltanto alcuni millimetri di diametro, e, se l'angolo rifrangente del prisma è di 70°, lo schermo sul quale si riceve lo spettro deve esserne lontano da 5 a 6 metri.

462. **I colori dello spettro sono semplici e disegualmente rifrangibili.** — Isolando uno dei colori dello spettro coll'intercettare gli altri per mezzo di

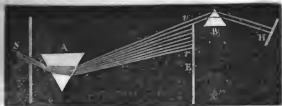



Fig. 318.

uno schermo E, come mostra la figura 318, e facendolo passare attraverso ad un secondo prisma B, si osserva pur tuttavia una deviazione, ma la luce rimane inalterata, cioè l'immagine ricevuta sullo schermo H è rossa, quando si è lasciato passare il fascio rosso, turchina, se il raggio trasmesso è il turchino; il qual fenomeno dimostra che i colori dello spettro sono *semplici* od indecomponibili per mezzo del prisma.

Inoltre i colori dello spettro sono disegualmente rifrangibili, cioè hanno indici di rifrazione differenti. La forma allungata dello spettro basterebbe a dimostrare l'ineguale rifrangibilità dei raggi semplici, perchè è evidente che il colore violetto, il quale è il più deviato verso la base del prisma (fig. 317), è anche il più rifrangibile, e che il rosso, il quale è il meno deviato, è il meno rifrangibile. Ma si può confermare la ineguale rifrangibilità dei colori semplici con parecchie esperienze. Citeremo le due seguenti:

1.° Si fissano sopra un cartone nero, l'una vicina all'altra, due listerelle di carta, una rossa e l'altra violetta; indi si guardano attraverso ad un prisma. Si vedono allora deviate entrambe, ma disegualmente: la lista rossa è deviata meno della violetta, il che dimostra che i raggi rossi sono meno rifrangibili dei violetti.

2.° Si istituisce al medesimo scopo l'esperimento dei prismi incrociati di Newton. Sopra un primo prisma A (fig. 319), disposto orizzontalmente, si riceve un fascio di

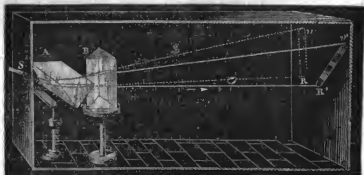



Fig. 319.

luce bianca S, il quale, quando attraversa soltanto il prisma A, forma uno spettro R*v* su di uno schermo lontano. Collocando allora verticalmente, al di dietro del primo, un secondo prisma B, in modo che sia attraversato dal fascio rifratto, lo spettro R*v* declina verso la base del prisma verticale; ma invece di essere deviato parallelamente a sè stesso, come avverrebbe se i colori dello spettro fossero rifratti tutti allo stesso modo, assume una posizione obliqua R'*v*; onde risulta che i colori, partendo dal rosso sino al violetto, sono di mano in mano sempre più rifrangibili.

Questi diversi esperimenti dimostrano che l' indice di rifrazione è vario pei differenti colori. Inoltre si deve osservare che non hanno un medesimo indice nemmeno tutti i raggi di uno stesso colore. Infatti, nella zona rossa, per esempio, i raggi che formano l' estremità dello spettro sono rifratti meno di quelli che trovansi presso alla zona ranciata. Nei calcoli degli indici di rifrazione (447) si è convenuto di prendere per indice di una sostanza quello del raggio giallo nello spettro da essa formato (*).

463. Ricomposizione della luce bianca. — Dopo avere decomposta la luce bianca, restava a verificare se si poteva riprodurla riunendo i differenti fasci separati per mezzo del prisma. Questa ricomposizione può effettuarsi con moltissimi processi.

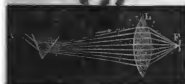



Fig. 320.

Fig. 321.

1.° Se si riceve lo spettro sopra un secondo prisma di angolo rifrangente eguale a quello del primo, e rivolto in verso contrario, come mostra la figura 321, quest' ultimo prisma riunisce i differenti colori dello spettro, e si osserva che il fascio emergente E, parallelo al fascio incidente S, è incoloro.

2.° Facendo cadere lo spettro sopra una lente bi-convessa D (fig. 320) e collocando uno schermo bianco al suo fuoco, vi si riceve una immagine del sole, che è bianca; un pallone di vetro pieno d' acqua produrrebbe lo stesso effetto della lente.

3.° Si fa cadere lo spettro sopra uno specchio concavo (fig. 322), ed al suo fuoco, sopra una lastra di vetro smerigliato, formasi un' immagine bianca.

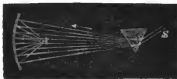



Fig. 322.

(*) Le righe dello spettro, delle quali si parla al § 467, servono meglio a dare nello spettro dei punti fissi rispetto ai quali si determinano gli indici di rifrazione delle varie sostanze.

(*Nota dei Trad*).

4.° Si ricompone la luce anche con un esperimento elegante, che consiste nel ricevere i sette colori dello spettro rispettivamente sopra sette specchi di vetro, a facce esattamente parallele perchè non decompongano la luce, ed imperniati in guisa da poterli inclinare in tutti i versi per dirigere come si vuole i raggi riflessi (fig. 323). Di-

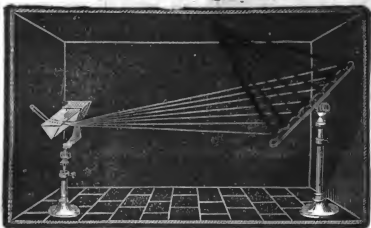



Fig. 323.

sponendo convenientemente questi specchi, si fanno dapprima cadere sopra uno schermo bianco i sette fasci riflessi, in modo di formarvi le sette immagini distinte, rossa, ranciata, gialla..., poi si fanno muovere gli specchi di tal maniera che le sette immagini si sovrappongano esattamente, e si ottiene allora un'immagine unica, che è bianca.

5.° Finalmente, si dimostra che i sette colori dello spettro formano il bianco, per mezzo del disco di Newton. È un disco di cartone, del diametro di 35 centimetri all'incirca, mobile intorno ad un asse orizzontale. La parte centrale ed il lembo sono coperti di carta nera, e nella parte intermedia sono incollate delle liste di carta, che si stendono dal centro alla circonferenza e sono colorite rispettivamente in rosso, ranciato, giallo, verde, turchino, indaco, violetto, in modo di imitare, colla qualità e coll'estensione relativa delle tinte, cinque spettri successivi disposti all'ingiro (fig. 324). Quando si imprime a questo

disco un moto rapido di rotazione, la retina riceve simultaneamente l'impressione dei sette colori dello spettro, ed

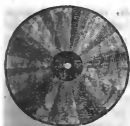



Fig. 324.

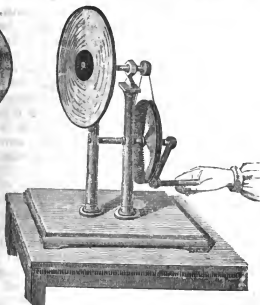



Fig. 325

allora il disco sembra bianco (fig. 325), od almeno grigio, perchè i colori di cui è coperto non sono precisamente quelli dello spettro.

464. Teoria di Newton sulla composizione della luce e sui colori dei corpi. — Newton, pel primo, decompose la luce bianca col prisma e la ricompose. Dalle diverse esperienze surriferite egli conchiuse che la luce bianca non è omogenea, ma che è formata da sette specie di luci disegualmente rifrangibili, cui egli applicò il nome di luci *semplici* o *primitive,* le quali, attraversando il prisma, si dividono per effetto della loro differente rifrangibilità.

Secondo questa teoria, i corpi decompongono la luce per riflessione, ed il colore loro proprio non dipende che dal potere riflettente ch'essi posseggono pei differenti colori semplici. Quei corpi che li riflettono tutti nelle proporzioni in cui trovansi nello spettro sono bianchi; quelli

che non ne riflettono affatto sono neri. Fra questi due limiti estremi si presenta un indefinito numero di tinte, secondo che i corpi riflettono in maggiore o minor copia certi colori semplici, assorbendo gli altri. Adunque i corpi non sono colorati per sè stessi, ma il loro colore dipende dalla specie di luce che riflettono. Infatti, illuminando in una camera oscura uno stesso corpo successivamente con ciascuno dei colori dello spettro, questo corpo, non potendo riflettere che la specie di luce che riceve, non ha più un colore proprio, ma sembra rosso, ranciato, giallo.... secondo il colore del fascio nel quale è collocato. Il colore dei corpi varia anche colla natura della sorgente di luce; così la luce del gas e quella delle candele, nelle quali predomina il giallo, comunicano questa tinta agli oggetti da esse illuminati.

Tale è la teoria di Newton sulla composizione della luce e sulla colorazione dei corpi, la quale teoria è generalmente ammessa dai fisici. Taluni però non ammettono sette colori semplici. Brewster, professore a Edimburgo, non ne ammise che tre, cioè il rosso, il giallo ed il turchino. Questo fisico, avendo analizzato lo spettro solare, guardandolo attraverso a sostanze colorate le quali lasciano passare soltanto certi colori ed assorbiscono gli altri, osservò che in tutte le parti dello spettro trovasi del rosso, del giallo, e del turchino. Quindi egli opinò che lo spettro solare sia formato di tre spettri sovrapposti, di eguale estensione, l'uno rosso, l'altro giallo, ed il terzo turchino, e che i tre spettri abbiano la loro intensità massima in punti differenti, dal che provengano le diverse tinte dello spettro solare. Questa teoria non venne adottata dai fisici francesi.

465. **Colori complementarii.** — Newton chiamò *colori complementarii* quelli che, riuniti, formano il bianco. Il verde è complementario del rosso violaceo, il turchino lo è del ranciato, il violetto del giallo. Un colore qualunque ha sempre il suo complementario; infatti, non essendo bianco, gli mancano alcuni colori dello spettro per formare la luce bianca; epperò la mescolanza di questi colori deve darne uno complementario del primo.

466. **Proprietà dello spettro.** — Nei colori dello spettro si distinguono: l'azione rischiarante, l'azione calorifica e l'azione chimica.

1.° *Azione rischiarante.* — Secondo le esperienze di Fraünhofer e di Herschell, il massimo d'intensità della

luce trovasi nel giallo e nel verde, ed il minimo nel violetto.

2.° *Azione calorifica.* — L'intensità del calore rifratto insieme ai raggi solari è varia nelle diverse parti dello spettro. Leslie mostrò, pel primo, che essa cresce andando dal violetto al rosso. Herschell stabilì che l'intensità massima si trova nella zona oscura che termina il rosso; Bérard opina che trovasi nello stesso raggio rosso. Questa differenza nei risultati fu spiegata da Seebeck, il quale osservò che essa dipendeva dalla natura del prisma rifrangente. Con un prisma d'acqua egli trovò il massimo calore nel giallo; con un prisma d'alcoole lo constatò nel giallo ranciato e, finalmente, con un prisma di crown, nel rosso medio.

Melloni confermò le esperienze di Seebeck col suo termo-moltiplicatore; egli trovò inoltre che il massimo di calore si allontana dal giallo verso il rosso, tanto più quanto più diatermica (366) è la sostanza del prisma. Con un prisma di sal gemma, che è la più diatermica di tutte le sostanze, il massimo calore si trova affatto fuori dello spettro al di là del rosso.

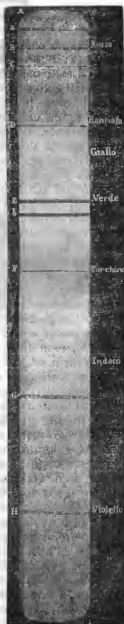
3.° *Azione chimica.* — In un gran numero di fenomeni la luce solare opera come un agente chimico. Così, per esempio, essa fa annerire il calomelano o protocloruro di mercurio ed il cloruro d'argento, fa diventare opaco il fosforo pellucido e distrugge con somma facilità i principii coloranti di origine vegetabile. La luce basta anche a determinare certe combinazioni, come, per esempio, quella di una mescolanza di cloro e di idrogeno; infine, contribuisce principalmente alla formazione della clorofilla nelle piante. Però i differenti colori dello spettro non manifestano tutti la stessa azione chimica. Schéele, pel primo, fece vedere che l'effetto del raggio violetto sul cloruro d'argento è più sensibile di quello degli altri raggi. Wollaston osservò anche che questa azione si estendeva fuori dello spettro visibile colla stessa intensità che nel violetto, e ne conchiuse che, oltre i raggi atti ad agire sulla retina, ne esistono degli altri invisibili dotati di maggiore rifrangibilità. I raggi che possedono la proprietà di determinare delle reazioni tra gli elementi dei corpi furono denominati *raggi chimici.*

Edmondo Becquerel ha scoperto nello spettro anche due specie di raggi, l'una di quelli ch'egli chiama *continuatori,* l'altra dei così detti *fosforogenici.* I primi sono

raggi che non esercitano azione chimica per sè stessi, ma hanno la proprietà di farla continuare quando sia cominciata. I raggi fosforogenici sono quelli che hanno la proprietà di rendere luminosi certi corpi, come, per esempio, il solfuro di bario, quando, dopo essere stati esposti per qualche tempo alla luce solare, si collocano nell'oscurità. Becquerel riconobbe che lo spettro fosforogenico si stende dall'indaco sino a molto al di là del violetto.

Fig. 326.

467. *Righe dello spettro* — I diversi colori dello spettro solare non sono continui. Per parecchi gradi di rifrangibilità vi mancano i colori, e ne deriva, in tutta l'estensione dello spettro, un gran numero di linee oscure assai strette, che si chiamano le *righe dello spettro*. Per osservarle, si introduce in una camera oscura un fascio di luce solare per una fessura assai stretta, ed alla distanza di 3 o 4 metri si guarda questa fessura attraverso ad un prisma di flint privo affatto di strisce e i cui spigoli siano paralleli ai lembi della fessura. Allora si vede un gran numero di linee nere sottilissime parallele agli spigoli del prisma e disposte assai regolarmente. Guardando lo spettro con un cannocchiale acromatico, si può arrivare a scorgere sino a 600 righe. Se ne distinguono sette che sono più appariscenti delle altre e che si chiamano le *righe di Fraünhofer*, dal nome del fisico che pel primo le ha fatte conoscere. Queste righe hanno posizioni fisse, il che fornisce il mezzo di misurare con precisione l'indice di rifrazione per ogni colore semplice. Nello spettro formato da una luce artificiale o da quella delle stelle, la posizione relativa delle righe è alterata; colla luce elettrica alle righe oscure se ne trovano surrogate delle brillanti.

La figura 326 rappresenta lo spettro prodotto dalla luce solare colla indicazione delle sole righe principali. Le sette righe fisse sono indicate con

B, C, D, E, F, G, H. Le due B e C sono nel rosso; D nel ranciato; E nel verde; F nel turchino; G nell'indaco, e H nel violetto. Altre righe assai appariscenti sono la *a* nel rosso e la *b* nel verde.

468. Colori degli oggetti veduti attraverso ai prismi. — Quando si guarda un corpo attraverso ad un prisma, le parti del suo contorno parallele agli spigoli del prisma appajono colorate delle tinte dello spettro. Questo fenomeno dipende dalla ineguale rifrangibilità dei raggi luminosi riflessi dal corpo. Guardando, per esempio, una lista assai stretta di carta bianca incollata sopra un cartone nero, attraverso ad un prisma i cui spigoli le siano paralleli, questa lista sembra colorata di tutte le tinte dello spettro, tra le quali la violetta è la più deviata verso il vertice del prisma. In questo esperimento la luce bianca riflessa dalla lista di carta è decomposta al suo passaggio nel prisma, e la tinta violetta, che è la più rifrangibile, trovasi deviata più delle altre, epperò sembra più rialzata. Se la lista di carta, in luogo di essere molto stretta, ha una certa larghezza, tutta la sua parte di mezzo rimane bianca, e se ne vedono colorati soltanto i lembi paralleli agli spigoli del prisma; il più vicino al vertice ha la tinta violetta mista di turchino e di indaco, e il più vicino alla base la rossa mista di ranciato e di giallo. Per spiegare questo fenomeno, bisogna immaginare la lista di carta divisa in una serie di liste parallele molto strette. Ciascuna di queste darà, come nel primo caso, uno spettro compiuto. Ora, il secondo spettro trovandosi un po' al di sotto del primo, il terzo al di sotto del secondo, e così di seguito, ne risulta una sovrapposizione successiva di tutti i colori semplici, la quale produce il bianco; ma verso i lembi, non essendovi sovrapposizione esatta, restano affatto isolati il violetto da una parte ed il rosso dall'altra.

Il prisma dà il mezzo di analizzare il colore di un corpo. Per ciò si taglia una listerella stretta del corpo, e, disposta sopra un fondo nero, la si illumina fortemente. Guardandola allora alla distanza di 1 o 2 metri con un prisma, la luce riflessa dal corpo è decomposta ne' suoi elementi e si riconosce quali siano i colori semplici che compongono il colore proprio del corpo. In tal modo si verificò che i colori di tutti i corpi sono composti. I petali de' fiori, per esempio, danno sempre uno spettro che presenta parecchi dei colori dello spettro solare.

469. Aberrazione di rifrangibilità. — Le diverse lenti descritte più sopra (450) hanno l'inconveniente di dare, quando si trovino ad una certa distanza dall'occhio, delle immagini i cui contorni sono iridescenti. Questo difetto, che è sensibile specialmente nelle lenti di convergenza, proviene dalla ineguale rifrangibilità dei colori semplici (462), e si denota col nome di *aberrazione di rifrangibilità*. Infatti, le lenti potendo essere paragonate ad una serie di prismi a facce infinitamente piccole posti colle loro basi le une accanto alle altre, non solo rifrangono la luce, ma la decompongono ben anche come fanno i prismi. Da questa dispersione risulta che le lenti hanno realmente sette fuochi distinti, uno per ciascun colore dello spettro. Nelle lenti convergenti, per esempio, i raggi rossi, che sono i meno rifran-

gibili, formano il loro fuoco in un punto r posto sull'asse della lente (figura 327), mentre i violetti, rifrangendosi di più, concorrono in un punto v più vicino. Tra questi due limiti si formano i fuochi ranciato, giallo, verde, turchino ed indaco. L'aberrazione di rifrangibilità è tanto più sensibile quanto più convesse sono le lenti e quanto più lontano dall'asse è il punto d'incidenza dei raggi che le attraversano; perchè allora le facce d'incidenza e di emergenza sono più inclinate l'una relativamente all'altra. Ci rimane a mostrare come si corregga l'aberrazione di rifrangibilità negli strumenti d'ottica.

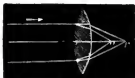



Fig. 327.

470. Acromatismo. — Combinando dei prismi di angoli rifrangenti differenti (443) e formati di sostanze diversamente dispersive (461) si giunge a rifrangere la luce bianca senza decomporla. Lo stesso risultato si ottiene con lenti di sostanze diverse, e le cui curvature siano combinate in modo opportuno. Siccome i contorni degli oggetti veduti attraverso a prismi o lenti cosiffatte non appariscono più colorati, si dice che questi prismi e queste lenti sono *acromatiche*, e si chiama *acromatismo* il fenomeno della rifrazione della luce senza dispersione.

Dietro l'osservazione del fenomeno della dispersione dei colori con prismi d'acqua, d'essenza di trementina, di crown, Newton era stato condotto ad ammettere che la dispersione fosse proporzionale alla rifrazione. Egli ne aveva conchiuso che non poteva darsi rifrazione senza dispersione, e, per conseguenza, che l'acromatismo era impossibile. Passò quasi mezzo secolo prima che si conoscesse l'errore di Newton. Hall, scienziato inglese, costrusse, pel primo, nell'anno 1733 dei cannocchiali acromatici, ma non pubblicò la sua scoperta. Dollond, ottico di Londra, nel 1757, mostrò che, po-

Fig. 328.

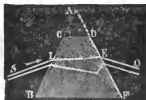



Fig. 329.

nendo una lente bi-convessa di crown accanto ad una concavo-convessa di flint (fig. 328), si otteneva una lente sensibilmente acromatica.

Per spiegare questo risultato, si immaginino due prismi BFC e CDF sovrapposti e collocati in verso contrario, come mostra la figura 329. Se si suppone dapprima che questi prismi siano della stessa sostanza, siccome l'angolo rifrangente CFD del secondo è più piccolo dell'angolo rifrangente BCF del primo, si scorge che i due prismi produrranno lo stesso effetto di

un prisma unico BAF; cioè la luce bianca, che li attraversa, non sarà soltanto deviata, ma ben anco decomposta. Al contrario se il primo prisma BCF è di crown ed il secondo di flint, si può distruggere la dispersione, conservando la rifrazione. Infatti, siccome il flint è più dispersivo del crown, e la dispersione prodotta da un prisma diminuisce col suo angolo rifrangente (461), ne segue che, diminuendo opportunamente l'angolo rifrangente CFD dei prismi di flint relativamente all'angolo rifrangente BCF del prisma di crown, si possono rendere eguali le dispersioni di questi prismi, e siccome, in conseguenza della loro disposizione, le dispersioni avvengono in versi contrarii, esse si compensano; cioè i raggi emergenti analoghi ad EO sono sensibilmente ridotti ad essere paralleli, e, per conseguenza, danno della luce bianca. Però, siccome il rapporto degli angoli BCF e CFD che producono, per esempio, il parallelismo de'raggi rossi e dei violetti non è quello opportuno pei raggi intermedii, ne segue che con due prismi non si possono realmente acromatizzare se non due raggi dello spettro. Per ottenere l'acromatismo perfetto si richiederebbero sette prismi di sostanze inegualmente dispersive, e i cui angoli rifrangenti fossero opportunamente determinati. La rifrazione non è tolta insieme colla dispersione; perchè bisognerebbe a questo effetto che le facoltà rifrattive dei corpi variassero nello stesso rapporto dei loro poteri dispersivi, come aveva supposto Newton, il che non accade. Per conseguenza, il raggio emergente EO non esce parallelo all'incidente SI, ed avviene deviazione senza una sensibile decomposizione.

Le lenti acromatiche si formano con due lenti di sostanze inegualmente dispersive; l'una, A, di flint, è concavo-convessa divergente (fig. 328); l'altra B, di crown, è biconvessa, ed una delle sue facce può coincidere esattamente colla faccia concava della prima. Nelle lenti, come nei prismi, si richiederebbero sette vetri per ottenere l'acromatismo perfetto; ma, per tutti gli strumenti d'ottica, si suole adoperarne due soli, dando loro la curvatura necessaria per acromatizzare i raggi rossi ed i gialli.

471. Assorbimento della luce nei mezzi trasparenti. — Non si conosce alcuna sostanza dotata di trasparenza perfetta. Il vetro, l'acqua ed anche l'aria estinguono gradatamente la luce che li attraversa, e quando la falda di queste sostanze sia di sufficiente grossezza, la indeboliscono in modo che non agisce più sulla retina. Infatti, si osserva che un gran numero di stelle, le quali sono invisibili a chi trovasi in pianura, anche a cielo assai limpido, riescono visibili sulle alte montagne.

Questo indebolimento successivo della luce nell'attraversare i mezzi diafani si chiama *assorbimento*, e proviene dalla riflessione che subisce la luce incontrando le molecole dei corpi trasparenti. Se tutti i raggi semplici fossero egualmente trasmissibili attraverso ai mezzi diafani, questi sarebbero incolori. Ma poichè ciò non accade mai, se ne conchiude che siccome i corpi diatermici non si lasciano attraversare egualmente dai differenti raggi calorifici (374), così i corpi diafani lasciano passare più facilmente certi raggi luminosi che certi altri. Per questo motivo uno strato d'aria

assai grosso sembra turchino, ed una lastra di vetro non troppo sottile sembra verde. Il vetro colorato in rosso col protossido di rame lascia passare soltanto i raggi rossi ed assorbe tutti gli altri anche quando sia sottile.

Per effetto dell'assorbimento avviene che i raggi del sole sono meno intensi quando quest'astro trovasi all'orizzonte che non quando è allo zenit; perchè, nel primo caso, devono attraversare uno strato d'aria di una grossezza molto maggiore.

CAPITOLO V.

STRUMENTI D'OTTICA.

472. **Diversi strumenti d'ottica**. — Si chiamano strumenti d'ottica certe combinazioni di lenti, o di lenti e di specchi. Questi strumenti si possono dividere in tre classi, secondo gli usi a cui si destinano: 1.° gli strumenti che hanno per iscopo soltanto di amplificare le immagini di quei corpi, i quali, per la piccolezza delle loro dimensioni, non possono essere veduti ad occhio nudo, e sono i *microscopii;* 2.° gli strumenti che servono ad osservare gli astri e gli oggetti molto lontani, e sono i *telescopii* ed i *cannocchiali terrestri;* 3.° gli strumenti acconci a produrre sopra un diaframma delle immagini impicciolite od ingrandite per trarne partito nell'arte del disegno, o per mostrarle ad un gran numero di spettatori; tali sono la *camera chiara*, la *camera oscura*, il *dagherrotipo*, la *lanterna magica*, la *fantasmagoria*, il *megascopio*, il *microscopio solare* ed il *microscopio foto-elettrico.* I due primi gruppi non danno che immagini virtuali e gli ultimi soltanto immagini reali, quando se ne eccettui la camera chiara.

473. **Microscopio semplice**. — Si distinguono due specie di microscopii, il semplice ed il composto. Il *microscopio semplice* è formato ora da una sola lente convergente ora da parecchie lenti sovrapposte che agiscono come una sola lente. Si è già veduto (455, 2.°) che nel microscopio semplice, o lente, l'oggetto che si osserva viene collocato tra la lente ed il suo fuoco principale, e che allora l'immagine è virtuale, diritta ed ingrandita (fig. 314).

Varie disposizioni furono date al microscopio semplice: la figura 330 rappresenta quella adottata da Raspail. Un sostegno orizzontale, che può essere innalzato od abbas-

sato per mezzo di un' asta dentata e di una vite a bottone D, porta un diaframma nero A, nel centro del quale è incassata una lente più o meno convessa. Al di sotto trovasi il *porta oggetti* B, che è fisso e sul quale si colloca, tra due lamine di vetro C, l'oggetto che si vuole osservare. Siccome è necessario che l'oggetto sia fortemente illuminato, si riceve la luce diffusa dell'atmosfera sopra uno specchio concavo di vetro M, il quale si inclina in modo che i raggi riflessi cadano sull' oggetto. Per adoperare questo microscopio, si colloca l'occhio assai vicino alla lente e si abbassa quest' ultima verso l'oggetto o la si solleva fino a che trovasi la posizione in cui l' immagine riesce più nitida.

Fig. 330

474. **Ingrandimento col microscopio semplice.** — Siccome l'ingrandimento è il rapporto della grandezza dell'immagine a quella dell'oggetto (455, 2°), si può averne un valore approssimato per mezzo di una semplicissima considerazione geometrica. Per ciò, supponiamo che nella figura 314 (pag. 467) si congiungano con una retta i punti A, B e parimenti *a* e *b*. Si hanno due triangoli simili Oab ed AOB, nei quali il rapporto $\frac{ab}{AB}$ della grandezza dell'immagine a quella dell'oggetto è eguale al rapporto $\frac{Om}{On}$ delle distanze dell'immagine e dell'oggetto dal centro ottico. Ora, siccome si può supporre l'occhio vicinissimo alla lente, alla distanza Om può essere sostituita quella della visione distinta (500), perchè, allorquando la immagine apparisce più chiara, essa si forma appunto a questa distanza. Parimenti, essendo l'oggetto collocato assai vicino al fuoco principale, si può sostituire alla On la di-

stanza focale f: così si ottiene l'eguaglianza $\frac{ab}{AB} = \frac{d}{f}$, ove d rappresenta la distanza della visione distinta, il cui valore varia da 25 a 30 centimetri. Si vede dunque che nel microscopio semplice un valore approssimato dell'ingrandimento è *il rapporto della distanza della visione distinta alla distanza focale principale della lente*, d'onde si conchiude che l'ingrandimento è tanto maggiore: 1.° quanto più la lente è a corto fuoco, cioè quanto più essa è convergente; 2.° quanto maggiore è la distanza della visione distinta dell'osservatore.

Per mezzo di lenti di ricambio si può variare l'ingrandimento, soltanto però entro certi limiti, se non si vuol togliere all'immagine la sua chiarezza. Col microscopio semplice si ottiene un ingrandimento lineare sino a 120 volte senza danneggiare la chiarezza.

475. **Microscopio composto.** — Il *microscopio composto*, nella sua maggiore semplicità, è formato di due vetri lenticolari convergenti, l'uno a corto fuoco, il quale si chiama *obiettivo*, perchè è rivolto verso l'oggetto, l'altro meno convergente, che dicesi *oculare*, perchè trovasi vicino all'occhio dell'osservatore.

La figura 331 rappresenta l'andamento dei raggi luminosi e la formazione dell'immagine nel microscopio composto. Se si colloca un oggetto AB assai vicino al fuoco

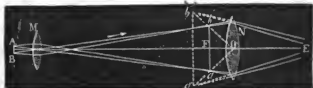



Fig. 331.

principale dell'obiettivo M, ma alquanto al di là del fuoco medesimo, si forma un'immagine *ab* reale, rovesciata e molto ingrandita all'altro lato dell'obiettivo (455, 1.°). Ora la distanza dei due vetri M ed N è tale che il luogo dell'immagine *ab* trovasi tra l'oculare N ed il suo fuoco F. Ne segue che per l'occhio collocato in E, il quale guarda quest'immagine coll'oculare, quest'ultimo vetro produce l'effetto di un microscopio semplice o lente (455, 2.°), e sostituisce all'immagine *ab* un'altra immagine *a'b'* vir-

tuale ed ingrandita di nuovo. Questa seconda immagine, diritta rispetto alla prima, è rovesciata in confronto dell'oggetto. Si può dunque dire in conclusione che il microscopio composto non è altro che un microscopio semplice applicato non già all'oggetto ma alla sua immagine già ingrandita da una prima lente.

476. **Ingrandimento nel microscopio composto, micrometro.** — L'ingrandimento nel microscopio composto è il prodotto degli ingrandimenti rispettivi dell'obiettivo e dell'oculare; cioè se il primo di questi vetri ingrandisce 20 volte ed il secondo 10, l'ingrandimento totale è 200. L'ingrandimento dipende dalla maggiore o minore convessità dell'obiettivo e dell'oculare, dalla distanza di questi due vetri e da quella dell'oggetto dall'obiettivo. In alcuni microscopii si ottiene l'ingrandimento sino a 1500 diametri, ed anche di più, ma allora l'immagine perde in chiarezza ciò che guadagna in estensione. Per ottenere delle immagini nitide e bene rischiarate, l'ingrandimento non dee sorpassare 500 o 600 in diametro. L'ingrandimento in superficie è proporzionale al quadrato dell'ingrandimento lineare, perchè l'immagine e l'oggetto sono sempre due figure simili. Se dunque l'ingrandimento lineare è, per esempio, 600, quello in superficie è 360000.

L'ingrandimento lineare si misura sperimentalmente col mezzo del *micrometro*. Chiamasi con questo nome una piccola lamina di vetro sulla quale sono tracciate col diamante delle linee parallele, distanti l'una dall'altra di $^1/_{10}$ o di $^1/_{100}$ di millimetro. Si colloca il micrometro davanti all'obiettivo, poi, in luogo di ricevere direttamente nell'occhio i raggi emergenti dall'oculare O, si fanno cadere questi raggi sopra una lamina di vetro a facce parallele A (fig. 332), inclinata a 45°, e si colloca l'occhio al di sopra in modo di vedere l'immagine delle linee del micrometro, formata per riflessione, sopra una scala divisa in millimetri e tracciata su di un diaframma E. Contando allora il numero di divisioni della scala che corrisponde ad un certo numero di divisioni dell'immagine, se ne deduce l'ingrandimento. Se, per esempio, l'immagine oc-

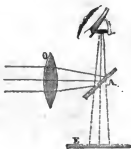



Fig. 332.

cupa sulla scala un'estensione di 45 millimetri e comprende 15 divisioni del micrometro, supponendo che l'intervallo di queste sia di $^1/_{100}$ di millimetro, la grandezza assoluta dell'oggetto sarà di $^{15}/_{100}$ di millimetro, e siccome quella dell'immagine è 45 millimetri, l'ingrandimento sarà il quoziente di 45 per $^{15}/_{100}$, cioè 300. In questa ricerca l'occhio deve avere dal diaframma E una distanza eguale a quella della visione distinta, la quale è varia pei differenti osservatori, ma compresa d'ordinario tra i 25 e i 30 centimetri. L'ingrandimento del microscopio si determina anche per mezzo della camera chiara, che descriveremo fra poco (484).

Quando è noto l'ingrandimento che dà un microscopio, si può anche dedurne la assoluta grandezza dei corpi collocati davanti all'obiettivo. Infatti, siccome l'ingrandimento è il quoziente che si ottiene dividendo la grandezza dell'immagine per quella dell'oggetto, ne segue che la grandezza di quest'ultimo si avrà dividendo la grandezza dell'immagine per l'ingrandimento. Per questa via si può determinare, per esempio, il diametro dei globetti del sangue, ed in generale di tutti i corpi microscopici.

477. **Microscopio composto di Amici.** — Finora abbiamo soltanto fatto conoscere (475) il principio del microscopio composto: ci rimane a descrivere i principali accessorii di questo apparecchio. Esso fu inventato nel 1620 e gli si apportarono successivamente molti perfezionamenti, i più importanti dei quali datano solo da circa trent'anni e sono dovuti principalmente ad Amici ed a Chevallier.

La figura 333 rappresenta l'insieme delle parti principali del microscopio conosciuto sotto il nome di *microscopio d'Amici* o *di Chevallier*. Negli antichi microscopii, il tubo A era sempre verticale, e le lenti non erano acromatiche. Amici, pel primo, adottò una disposizione per la quale si può collocare il tubo orizzontalmente o verticalmente ad arbitrio, e Chevallier, pel primo, nel 1823, applicò al microscopio le lenti acromatiche. La figura 333 rappresenta il microscopio nella posizione orizzontale, che, in generale, stanca meno la vista. Per disporlo poi verticalmente, si toglie il pezzo a gomito G, ed in suo luogo si dispone sull'obiettivo E il tubo Z, che porta l'oculare. Si può dare al microscopio anche una posizione inclinata. A questo scopo si toglie una chiavarda *m*, che ferma l'apparecchio alla sua parte inferiore e si fa girare tutto il

sistema sopra una cerniera *a*, la quale collega il microscopio con una colonna cilindrica che gli serve di sostegno.

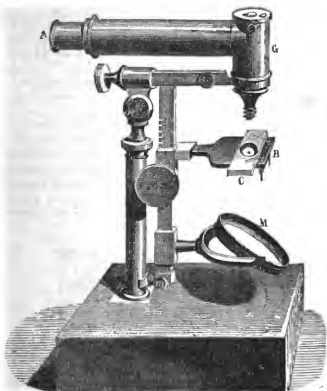



Fig. 333. ($a = 25$).

Sopra un'asta prismatica parallela a questa colonna trovasi il *porta-oggetti* B, il quale può essere sollevato od abbassato per mezzo di un piccolo rocchetto che imbocca in un'asta dentata, e che si fa girare mediante un bottone D. L'oggetto che si vuole osservare si colloca tra due lamine di vetro C poste sul porta-oggetti. Uno specchio concavo di vetro M riceve la luce diffusa dell'atmosfera e la riflette sull'oggetto, il quale, per tal guisa, trovasi fortemente rischiarato, come si richiede per l'ingrandimento. Il porta-oggetti ha nel suo centro un'apertura

circolare, che si vede attraverso alle lamine C e che è destinata a lasciar passare la luce riflessa dallo specchio.

La figura 334 mostra la posizione dei vetri e l'andamento dei raggi nel microscopio. L'obiettivo E è formato da una, due o tre lenti acromatiche, come quella rappresentata in K, le cui distanze focali principali sono di 8 o 10 millimetri. L'oculare, collocato nel tubo AH, è formato da una lente semplice, ovvero da due lenti A ed H acromatiche o non acromatiche. È facile il seguire l'andamento della luce in questo istrumento. I raggi luminosi, dopo essersi riflessi sullo specchio M, concorrono verso l'oggetto, indi si dirigono all'obiettivo e, attraversatolo, incontrano un prisma rettangolare di cristallo P, sull'ipotenusa del quale subiscono una riflessione totale (440). Allora, dirigendosi nel tubo GA, i raggi cadono sulla lente H e formano al di là della medesima un'immagine reale ed ingrandita dell'oggetto C. In fine, l'ultima lente serve come di microscopio semplice per sostituire a questa prima immagine una seconda immagine *bc* virtuale ed ingrandita di bel nuovo, come mostra la figura.

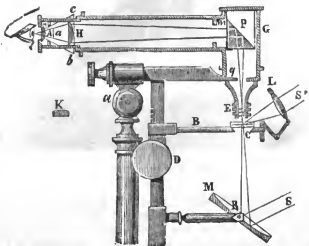



Fig. 334.

La lente intermedia H, denominata l'*oculare di Campani*, serve a riunire i raggi troppo obliqui i quali non cadrebbero sull'oculare A. Essa ingrandisce il *campo* del microscopio, ossia lo spazio visibile all'occhio che guarda at-

traverso all'oculare. In altre parole, il *campo* è lo spazio angolare che comprende tutti quegli assi secondarii i quali, partendo dal centro ottico dell'obiettivo, incontrano l'oculare.

L'oculare di Campani serve anche a correggere il difetto di acromatismo, che trovasi più o meno nell'obiettivo. L'aberrazione di sfericità è corretta da diaframmi in H ed A, i quali intercettano i raggi che attraverserebbero la lente troppo vicino ai margini. Per impedire ogni riflessione interna, che potrebbe nuocere alla chiarezza delle immagini, le pareti del tubo sono annerite al di dentro.

Il modo di illuminare il microscopio varia secondo che l'oggetto è trasparente ovvero opaco. Nel primo caso si illumina l'oggetto nel modo detto di sopra, cioè per mezzo di uno specchio concavo collocato al di sotto del porta-oggetti; nel secondo si fa uso di una lente L, sostenuta dal porta-oggetti e che concentra la luce sull'oggetto.

Finalmente, sono annessi all'apparato parecchi oculari ed obiettivi di ricambio, coi quali si può aumentare o diminuire l'ingrandimento. Si ottiene un ingrandimento minore anche col sopprimere una o due lenti dell'obiettivo.

Il microscopio è stato la sorgente delle scoperte più curiose in botanica, in zoologia, in fisiologia. Furono osservati animali, di cui prima ignoravasi l'esistenza, nell'aceto, nella pasta di farina, nella frutta secche, in certi formaggi; si potè vedere la circolazione del sangue e se ne scoprirono i globetti. Il microscopio offre anche numerose applicazioni nell'industria. Esso ci dà, per esempio, il mezzo di riconoscere le differenti specie di fecole, le sofisticazioni pur troppo frequenti delle farine, della cioccolata ecc., e può anche servire a riscontrare nelle stoffe la presenza del cotone, della lana, della seta.

478. **Cannocchiale astronomico.** — Il *cannocchiale astronomico*, destinato all'osservazione degli astri, è composto, come il microscopio, di un obiettivo e di un oculare convergenti. L'obiettivo M (fig. 335) dà un'immagine rovesciata *ab* dell'astro che si prende di mira, la quale è collocata tra l'oculare N ed il suo fuoco principale, e questo oculare, che fa l'effetto d'un microscopio semplice, dà indi una immagine *a'b'* virtuale della immagine *ab*, diritta ed assai ingrandita. Come si vede, il cannocchiale astronomico ha grande analogia col microscopio, ma ne differisce perchè in quest'ultimo, trovandosi l'oggetto assai vicino all'obiettivo, l'immagine si forma molto al di

là del fuoco principale ed è assai amplificata (455, 1.º), di modo che l'ingrandimento è prodotto e dall'obbiettivo e dell'oculare; mentre nel cannocchiale astronomico, essendo assai lontano l'oggetto che si guarda, i raggi inci-

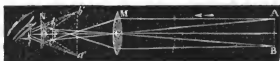



Fig 335.

denti sono paralleli, e l'immagine che si forma al fuoco principale dell'obiettivo è molto più piccola dell'oggetto. Adunque l'ingrandimento non può essere prodotto che dall'oculare, il quale, a questo intento, si fa molto convergente.

La figura 336 rappresenta un cannocchiale astronomico montato sul suo sostegno. Sopra di esso trovasi un pic-

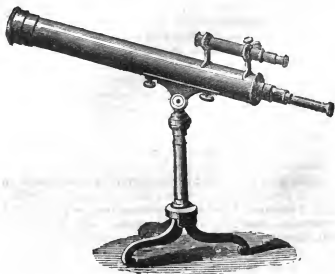



Fig 336.

colo cannocchiale detto *cercatore.* I cannocchiali che ingrandiscono molto sono poco comodi per cercare un astro, perchè hanno un campo assai ristretto. Perciò si guarda

dapprima col cercatore, il cui campo è più grande, cioè, abbraccia una maggiore estensione di cielo, poi si guarda col cannocchiale.

Il calcolo dimostra che nel cannocchiale astronomico l'ingrandimento è assai prossimamente eguale a $\frac{CF}{OF}$ (fig. 335), potendosi il fuoco F dell'obiettivo M supporre quasi coincidente col fuoco dell'oculare N. Ne segue che l'ingrandimento è tanto maggiore quanto meno convergente è l'oculare. In un buon cannocchiale l'ingrandimento non sorpassa 1000 o 1200.

Quando il cannocchiale astronomico si adopera a guardare gli astri, per misurare, a cagione d'esempio, con precisione la loro distanza zenitale, la loro ascensione retta o il loro passaggio al meridiano, si aggiunge al medesimo il *reticolo*. Si dà questo nome a due fili sottilissimi di metallo o di seta incrociati e tesi sopra un'apertura circolare praticata in una piccola piastra metallica (fig. 337). Il reticolo deve essere collocato precisamente al luogo dove l'obiettivo forma l'immagine rovesciata, ed il punto d'incrociamento dei fili bisogna che si trovi nell'asse ottico del cannocchiale, il quale asse diventa così la *linea di mira*.

Fig. 337.

479. **Cannocchiale terrestre.** — Il *cannocchiale terrestre* non differisce dall'astronomico, se non perchè le immagini vi sono raddrizzate. Questa disposizione dell'immagine si ottiene per mezzo di due vetri convergenti P e Q (fig. 338), collocati tra l'obiettivo M e l'oculare R. Supposto l'oggetto in AB, a distanza maggiore di quella che si possa disegnare nella figura citata, la sua immagine si forma rovesciata e piccolissima in *ba* dall'altro lato dell'obiettivo. Ora la seconda lente P è a tale distanza che il suo fuoco principale coincide sensibilmente

Fig. 338.

coll'immagine ab, d'onde risulta che i raggi luminosi, i quali passano, per esempio in b, dopo avere attraversata la lente P, prendono una direzione parallela all'asse secondario bO (451, 2.° e 454). Parimenti i raggi, che passano in a, prendono una direzione parallela all'asse aO. Questi diversi raggi, dopo essersi incrociati in H, attraversano una terza lente Q il cui fuoco principale coincide col punto H. Adunque il fascio BbH va a concentrarsi in b' sopra un asse secondario Ob' parallelo alla sua direzione (454): e siccome anche il fascio AaH concorre in a, si produce in ab una immagine diritta dell'oggetto AB. Questa immagine, come nel cannocchiale astronomico, si guarda con un oculare convergente R, che è collocato in modo da fare l'ufficio di microscopio semplice, ossia in modo che la sua distanza dall'immagine ab è minore della sua distanza focale, per cui dà in $a''b''$ una immagine virtuale dell'immagine $a'b'$ diritta ed ingrandita.

Le lenti P e Q, le quali servono soltanto a raddrizzare l'immagine, sono fissate in un tubo di ottone ad una distanza costante ed uguale alla somma delle loro distanze focali principali. L'obiettivo M poi è mobile in un tubo e può essere avvicinato od allontanato dalla lente P in modo che l'immagine ab si formi sempre al fuoco di questa lente, qualunque sia la distanza dell'oggetto che si guarda. Anche la distanza della lente R può variare in modo che l'immagine $a''b''$ si formi alla distanza della visione distinta (500).

Il cannocchiale terrestre può servire come cannocchiale astronomico, ma allora abbisogna un oculare di ricambio, perchè l'oculare deve ingrandire di più nel secondo cannocchiale che nel primo. Però gli astronomi preferiscono il cannocchiale a due vetri, perchè assorbe minor copia di luce.

L'ingrandimento è lo stesso che nel cannocchiale astronomico, quando si supponga che i vetri P e Q, destinati a raddrizzare l'immagine, abbiano la stessa convessità.

480. Oculari. — Fin qui, per semplificare la costruzione delle immagini, abbiamo generalmente supposto (figure 331, 335, 33?) che l'oculare fosse formato con un solo vetro convergente. Ora, nei microscopii e nei cannocchiali non si adopera mai un vetro solo per oculare, perchè si avrebbero grandi aberrazioni di sfericità (458) e di rifrangibilità (469), d'onde la necessità di formar gli oculari con parecchie lenti. A seconda del numero e della disposizione di queste lenti, si distinguono tre principali sorta di oculari: l'oculare di Campani, quello di Ramsden e quella di Dollond.

Oculare di Campani. — L'oculare di Campani, rappresentato nella fig. 339, è composto di due vetri piano-convessi, le cui facce piane sono rivolte all'occhio. Il primo vetro Q riceve i raggi, che escono dall'obiettivo e che vanno a formare in *ab* una immagine reale e rovesciata dell'oggetto, posta al di là dell'obiettivo. L'occhio poi guarda questa immagine col vetro R, che fa l'ufficio di microscopio semplice.

L'oculare di Campani si usa nei microscopii e nei cannocchiali astronomici quando non hanno il reticolo, cioè quando sono adoperati soltanto come strumenti di osservazione e non come cannocchiali di passaggio o cannocchiali murali. In questo oculare la distanza focale della lente R è un terzo di quella della lente Q, e la distanza tra le due lenti Q ed R eguaglia la semi-somma delle loro distanze focali.

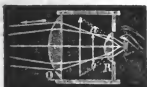



Fig. 336.

Fig. 340.

Oculare di Ramsden. — L'oculare di Ramsden, rappresentato nella figura 340, si compone di due vetri piano-convessi le cui convessità sono l'una dirimpetto all'altra. L'immagine reale e rovesciata *ab*, che è data dall'obiettivo, si forma davanti alla lente Q, e i due vetri Q ed R fanno insieme l'ufficio di microscopio semplice. Le distanze focali delle due lenti sono tra loro eguali, e la distanza da una lente all'altra eguaglia i due terzi delle loro distanze focali.

L'oculare di Ramsden si adopera nei cannocchiali astronomici muniti di reticolo.

Oculare di Dollond. — Nei cannocchiali terrestri, nei quali l'immagine deve essere diritta, non si possono adoperare gli oculari di Campani e di Ramsden perchè danno immagini rovesciate. In tal caso si ottiene il rad-

Fig. 341.

drizzamento delle immagini, ed insieme il loro acromatismo, per mezzo di un oculare quadruplo, che è attribuito a Dollond.

Questo oculare, rappresentato nella figura 341, è composto di quattro vetri piano-convessi. I primi due, Q ed R, volgono le loro facce piane verso l'obiettivo, e gli altri due, S, T le volgono verso l'occhio. Supposto che

ab sia l'immagine reale e rovesciata che dà l'obiettivo, le lenti Q, R ed S concorrono a darne un'immagine *ab* reale e diritta rispetto all'oggetto, la quale viene guardata dall'occhio per mezzo della lente T. Le aberrazioni di sfericità e di rifrangibilità sono corrette specialmente dal terzo vetro S, il quale, combinato colla lente R, rende meno divergenti i fasci di raggi.

L'abile ottico Secrétan giunse a costruire cannocchiali terrestri molto pregevoli, acromatizzando non solo l'obiettivo ma anche le lenti R e T sulle quali cadono più distesamente i fasci incidenti. Le lenti Q ed S, le quali ricevono fasci ristretti, possono senza inconveniente adoperarsi anche non acromatizzate.

La disposizione empiricamente adottata da Secrétan per le lenti Q, R, S, T ed i rapporti delle loro distanze focali sono i seguenti:

Rappresentando con q, r, s, t le distanze focali rispettive di questi lenti, con d la distanza da Q ad R, con d' quella da R ad S, con d'' quella da S a T, egli prende le lenti Q, R, S, T di distanze focali che stiano tra loro rispettivamente come i numeri 10, 11, 12 e 9, poi assume $d = \frac{2}{3}(q+r')$, $d' = \frac{1}{2}(q+r+s+t)$, e $d'' = \frac{2}{3}(s+t)$.

Con questa combinazione Secrétan costruisce connocchiali terrestri di campo assai grande e di modica lunghezza, i quali danno immagini assai nitide.

481. **Cannocchiale di Galileo.** — Il *cannocchiale di Galileo* o *cannocchiale da teatro* è il cannocchiale più semplice, perchè formato di soli due vetri, cioè di un obiettivo convergente M, e di un oculare divergente R (fig. 342).

Supponendo rappresentato l'oggetto dalla retta AB, la sua immagine si formerebbe in *ba*, rovesciata reale e più piccola, ma i raggi emessi dai punti A e B, nell'attraversare l'oculare R, si rifrangono allontanandosi rispettivamente dagli assi secondarii *b*O' ed *a*O', che corrispondono ai punti *b* ed *a* dell'immagine. Per conseguenza questi raggi prolungati in verso contrario concorrono sopra questi assi, in *a'* ed in *b'*; onde segue che l'occhio, ricevendoli, vede in *a'b'* un'immagine diritta ed ingrandita, la quale sembra più vicina perchè è veduta sotto un'angolo *a'*O'*b'* maggiore dell'angolo AO'*b*, sotto il quale si vede l'oggetto. L'ingrandimento, che è il rapporto di questi due angoli, non è d'ordinario che di due o tre volte.

La distanza dall'oculare R all'immagine *ab* è sensibilmente eguale alla distanza focale principale di quest'ocu-

lare, d'onde risulta che la distanza dei due vetri è la differenza delle loro distanze focali rispettive, e che, per conseguenza, il cannocchiale di Galileo è assai corto e comodamente portatile: esso ha anche il vantaggio di far vedere gli oggetti nella loro vera posizione, ed inoltre, non essendo formato che di due vetri, assorbe poca luce; però, a motivo della divergenza dei raggi emergenti, ha un piccolo campo, e, per servirsene, bisogna collocare l'occhio assai vicino all'oculare. Quest'ultimo

Fig. 342.

può essere avvicinato all'obiettivo od allontanato dal medesimo in modo che l'immagine $a'b'$ si formi alla distanza della visione distinta.

Il cannocchiale da teatro o *binoculo* differisce da quello ora descritto soltanto per essere doppio, allo scopo di formare una immagine in ciascuno degli occhi, per il che la chiarezza ne viene aumentata.

Questo cannocchiale di Galileo fu adoperato pel primo nelle osservazioni degli astri. Con questo istrumento l'illustre astronomo scoprì le montagne della luna, i satelliti di Giove e le macchie del sole.

Non si conosce l'epoca dell'invenzione dei cannocchiali. Alcuni ne fanno autore Ruggero Bacone nel secolo XIII, altri Giovanni Battista Della Porta, alla fine del secolo XVI, altri ancora Giacomo Mezio olandese, il quale, dicesi, verso il 1609, combinando a caso due vetri, l'uno convesso e l'altro concavo, avea trovato che gli oggetti apparivano più grandi e più vicini (*).

482. **Telescopii**. — I *telescopii* sono strumenti che servono a far vedere gli oggetti lontani, e particolarmente gli astri. Il cannocchiale astronomico ed il cannocchiale di Galileo sono adunque telescopii. Infatti, essi ebbero già questo nome, e si indicavano col titolo di *telescopii per rifrazione* o *telescopii diottrici;* ma oggidì si chiamano

(*) È noto però che Gallileo, al solo annunzio del trovato di Mezio, costrusse egli stesso quel cannocchiale che da lui ebbe il nome e lo adoperò pel primo nelle osservazioni astronomiche. (*Nota dei Trad.*)

telescopii gli apparati nei quali si approfitta della riflessione ed insieme della rifrazione, per mezzo di specchi e di lenti, allo scopo di osservare gli oggetti lontani. Si costrussero parecchie specie di telescopii, tra i quali i più noti sono quelli di Gregory, di Newton e di Herschel.

1.° *Telescopio di Gregory.* — La figura 343 rappresenta

Fig. 343. (a = 120).

un telescopio di Gregory montato sopra un piede, sul quale può girare ed inclinarsi più o meno; la figura 344 ne dà una sezione longitudinale. Questo telescopio, che fu inventato verso il 1650, è composto di un lungo tubo di ottone, che porta ad uno de'suoi capi un grande specchio concavo M di metallo, nel cui centro è praticata un'apertura circolare per la quale passano i raggi che dirigonsi all'oculare. Vicino all'altra estremità del tubo trovasi un secondo specchio concavo N, pure di metallo, un po'più largo dell'apertura centrale del primo e di un raggio di curvatura molto minore. Gli assi di questi specchi coincidono con quello del tubo. Se O è il centro di curvatura del primo, ed ab il suo fuoco, i raggi, che, come SA, sono emessi dall'astro, si riflettono su questo specchio e formano in ab un'immagine dell'astro rovesciata e piccolissima. Ora, la distanza degli specchi e le loro curvature

rispettive sono tali che il luogo di questa immagine trovasi tra il centro o ed il fuoco f dello specchio piccolo; d'onde risulta che i raggi, dopo essersi riflessi una seconda volta sullo specchio N, formano in $a'b'$ un'immagine ingrandita e rovesciata di ab (pag 438, reciproca), e per conseguenza diritta rispetto all'astro. Finalmente, si

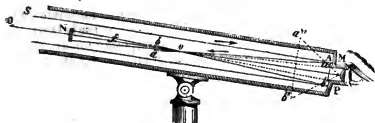



Fig. 344.

guarda questa immagine con un oculare P a vetro semplice o doppio, il quale ha per oggetto di ingrandirla di nuovo, e che la fa vedere in $a''b''$.

Siccome gli oggetti che si osservano non sono sempre collocati alla stessa distanza, il fuoco dello specchio più grande e quindi quello del piccolo, possono variare di posizione. Inoltre, siccome la distanza della visione distinta non è la stessa per tutti gli occhi, si deve poter collocare a differenti distanze la immagine $a''b''$. Per avere riguardo a queste variazioni, è necessario allontanare lo specchio piccolo dal grande od avvicinarlo ad esso; perciò si fa girare con un bottone A (fig. 343) un'asta, la quale, per mezzo d'una vite, fa muovere un pezzo B fissato allo specchio più piccolo.

2.° *Telescopio di Newton.* — Il telescopio di Newton differisce poco da quello di Gregory. Lo specchio grande non ha apertura al suo centro ed il piccolo è inclinato lateralmente di 45 gradi verso un oculare collocato sulla parete del tubo del telescopio. Le difficoltà che presenta la costruzione degli specchi metallici aveva fatto generalmente abbandonare l'uso dei telescopii di Gregory e di Newton, quando Foucault, essendo riescito ad inargentare con grande perfezione gli specchi di vetro senza far loro perdere nulla della loro levigatezza, pensò tosto a farne l'applicazione al telescopio di Newton, il quale così viene oggi rimesso in uso. Il primo specchio di Foucault aveva soli 10 centimetri di raggio; ma egli ne costrusse di poi

del diametro di 22, di 33, di 42 centimetri, ed ora ne sta costruendo uno di 80.

La figura 346 rappresenta un telescopio di Newton montato sopra piede parallatico, e la figura 345 ne mostra una sezione orizzontale. In M trovasi lo specchio di vetro inargentato il quale riceve i raggi dall'astro che si osserva; in *m* v'è un piccolo prisma rettangolare di vetro, sull'ipotenusa del quale subiscono la riflessione totale (440) i raggi rimandati dallo specchio, e sono rimbalzati sul fianco dell' istrumento. Senza l' interposizione di questo prisma, il fascio A, emesso dal margine superiore del-

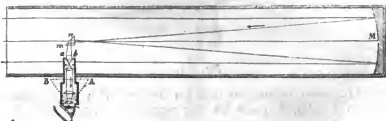



Fig. 345.

l'astro, andrebbe a convergere in *a* e il fascio B, partito dal margine inferiore, si riunirebbe in *b*, di modo che, al fuoco principale dello specchio si produrrebbe una immagine reale, rovesciata e piccolissima dell'astro. Ma, per la riflessione sulla ipotenusa del prisma, l'immagine, invece di formarsi in *ab* si produce in *a'b'* dove la si guarda con un oculare potente *o* che dà finalmente l' immagine AB virtuale ed assai ingrandita. Per semplificare la costruzione, abbiano supposto l'oculare fomato di un solo vetro; ma quello adoperato da Foucault è un oculare a quattro vetri, collocato sul fianco del telescopio e che, a norma della sua potenza e delle dimensioni dello specchio inargentato, può dare un ingrandimento variabile da 50 ad 800.

In questo istrumento lo specchio fa l'ufficio di obiettivo, ma evidentemente non dà alcuna aberrazione di rifrangibilità (469). Rispetto alle aberrazioni di sfericità, vedremo fra poco come Foucault giunge a toglierle per mezzo di correzioni fatte allo specchio.

Gli specchi di vetro dei nuovi telescopii escono dalla fabbrica di Saint-Gobain: essi vengono dapprima dirozzati e ridotti a curvatura sferica nelle officine pei fari di

Sautter, poi terminati in quelle di Secrétan. Ma l'ultimo grado di perfezione viene loro dato finora unicamente da Foucault. Egli, con una serie di prove ottiche successive e di correzioni locali, riduce la loro superficie a non pre-

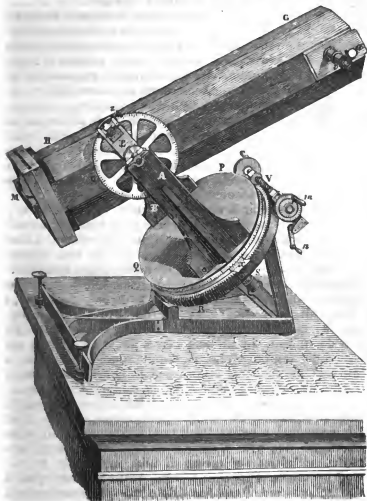



Fig. 318 (l = 70).

sentare più difetto alcuno, foggiandola quasi a paraboloide. Perocchè Foucault riconobbe che, per coreggere esattamente le aberrazioni di sfericità provenienti dall'oculare, non si deve delimitare lo specchio con una superficie di

esatto poraboloide, ma con una superficie determinata sperimentalmente, la quale, per opportuna guisa combinata col sistema di vetri amplificatori dell'oculare, dà la perfezione nella immagine che ne risulta.

Ben pulito lo specchio, rimane di inargentarlo nella sua superficie concava. A questo intento Foucault fa uso del processo Drayton alquanto modificato, immergendo lo specchio in un bagno d'argento assai complesso, formato cioè con acqua distillata, alcoole puro, nitrato d'argento fuso, nitrato d'ammoniaca, ammoniaca, gomma galbano ed essenza di garofano. A contatto col vetro liscio, questo bagno si decompone; l'argento si deposita, e in capo a 20 o 25 minuti, lo strato d'argento è di grossezza sufficiente. Benchè il deposito così ottenuto sia già liscio e lucente, si pulisce meglio ancora strofinandolo a lungo con una pelle cospersa d'ossido rosso di ferro. Foucault stima che questi specchi così preparati riflettano 75 per 100 della luce incidente.

I nuovi telescopii a specchi di vetro inargentato e parabolici hanno sugli antichi telescopii a specchi metallici il triplo vantaggio di dare immagini più nitide, d'essere molto più leggieri e più corti, essendo la loro distanza focale non più di sei volte il diametro dello specchio.

Conosciuti questi particolari, ci resta solo a descrivere l'insieme dell'apparato. Il corpo di telescopio, in legno, ha la forma di un prisma ottagono (fig. 346). L'estremità G è aperta, e all'altra estremità trovasi lo specchio. Partendo da questo, ad un terzo circa della lunghezza sono fissati due tamburi che riposano sopra cuscinetti sostenuti da montanti di legno A e B. Questi poi sono fissati ad una tavola girevole PQ, la quale, per mezzo di galetti, ruota sopra un disco fisso RS disposto parallelamente all'equatore. Sul lembo della tavola girante trovasi un ingranaggio circolare pel quale la ruota può essere condotta da una vite perpetua V. Movendo questa in un verso o nell'altro, per mezzo di una manovella *m*, si fa girare la tavola PQ e con essa tutto il telescopio. Un nonio *x* posto sul disco fisso RS serve a misurare le frazioni di grado. Finalmente, sull'asse dei tamburi è posto un cerchio graduato O, corrispondente al circolo orario dell'astro che si osserva e che, per conseguenza, serve a misurare la *declinazione* dell'astro, cioè la sua distanza angolare dall'equatore; mentre i gradi segnati alla periferia del disco RS servono a misurare la *ascensione retta*,

cioè l'angolo che fa il circolo orario dell'astro con un altro circolo orario scelto ad arbitrio.

Per fissare il telescopio in declinazione, un pezzo di ottone E, collegato al montante A, porta una pinzetta entro la quale scorre il lembo graduato O, e la quale si può serrare mediante un bottone a vite *r*. Finalmente, sul fianco dell'apparato trovasi l'oculare *o* montato sopra una piastra di ottone scorrevole entro guide, la quale porta anche il piccolo prisma *mn* rappresentato nella sezione (fig. 345).

Per allontanare l'immagine al giusto punto basta far avanzare o retrocedere questa piastra per mezzo di un'asta dentata e di un bottone a rocchetto *a*. La manovella *n* serve ad *impegnare* o *liberare* la vite V. La figura è stata disegnata sopra un telescopio il cui specchio ha soltanto 0,m 16 di diametro e il cui ingrandimento è di 150 a 200.

Il nuovo telescopio a specchi di vetro inargentato fu già un mezzo di osservazioni importanti, e si può ben credere che quello di 80 centimetri di diametro, che attualmente si sta costruendo, sarà sorgente di brillanti scoperte astronomiche.

3.° *Telescopio di Herschell.* — Il telescopio di Herschell, attribuito anche a Lemaire, è formato da un solo specchio

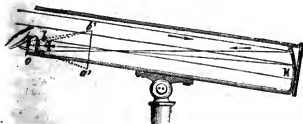



Fig. 347.

concavo M (fig. 347) e da un oculare *o*. Lo specchio è inclinato all'asse in modo che l'immagine dell'astro che vuolsi osservare si formi in *ab* a fianco dell'asse, vicino all'oculare *o*, il quale ne dà poi l'immagine ingrandita *a'b'*. Siccome in questo telescopio i raggi non si riflettono che una sola volta, la perdita di luce è minore che nei due precedenti e l'immagine più rischiarata. Anche in questo telescopio l'ingrandimento è il rapporto della distanza focale principale dello specchio a quella dell'oculare.

I telescopii a riflessione furono esclusivamente adottati quando non sapevasi correggere negli obiettivi l'aberrazione di rifrangibilità; ma dacchè si costruiscono obiettivi acromatici, si preferiscono generalmente i telescopi diottrici, cioè a sola rifrazione, come il cannocchiale astronomico, ai telescopii a riflessione, il cui specchio metallico, per dimensioni alquanto grandi, presentava difficoltà di costruzione. Oggidì, avendo Foucault sostituiti agli specchi metallici quelli di vetro d'una costruzione molto più facile, i telescopii a riflessione potranno essere adoperati senza dubbio al pari di quelli a rifrazione.

483. **Camera oscura**. — La *camera oscura*, siccome indica il suo nome, è una camera chiusa in cui penetra la luce soltanto per una piccola apertura, come mostra la figura 257 (pag. 414). Allora tutti quegli oggetti esterni i cui raggi possono giungere all'apertura si dipingono sulla parete opposta in dimensioni ridotte e coi loro colori naturali; ma le immagini sono rovesciate.

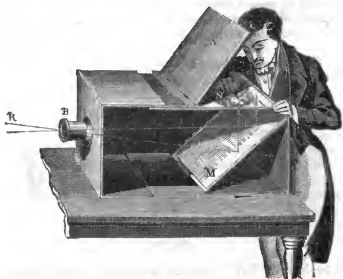



Fig. 348.

Della Porta, fisico napoletano, fece conoscere, nel 1560, il fenomeno prodotto da un fascio luminoso che penetra in una camera oscura. Poco dopo, lo stesso fisico osservò che se nell'apertura d'una camera oscura si fissa una lente bi-convessa, e si colloca al fuoco di questa uno

schermo bianco, l'immagine che vi si produce è molto più chiara, nitida, meglio colorita e di mirabile somiglianza. Queste immagini sono tanto più chiare, quanto più grande è la lente, e le loro dimensioni crescono colla distanza focale.

Furono date diverse forme alla camera oscura per adoperarla con vantaggio nell' arte del disegno, renderla portatile e raddrizzare facilmente le immagini. La fig. 348 rappresenta una *camera oscura a cassetto*. Essa consiste in una cassa parallelepipeda di legno nella quale entrano i raggi luminosi R attraverso alla lente B e tendono a formare una immagine sulla parete opposta O, la cui distanza dalla lente B deve eguagliare la distanza focale di quest' ultima. Ora, siccome i raggi incontrano uno spec-

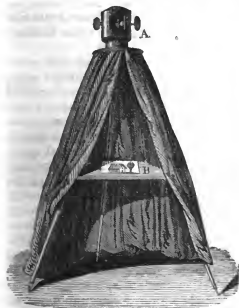
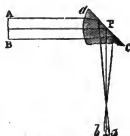



Fig. 350.

Fig. 349.

chio di vetro M inclinato di 45° colla loro direzione, cangiano cammino e formano l'immagine sopra una lastra di vetro smerigliato N. Collocando su questo vetro un foglio di carta, si possono copiare fedelmente i contorni della immagine. Il diaframma A serve ad intercettare la luce che rischiarirebbe l'immagine ed impedirebbe di vederla.

La cassa è formata di due parti che possono scorrere l'una entro l'altra in modo che, allontanando più o meno la parte anteriore, l'immagine si formi, dopo la riflessione, precisamente sulla lastra N, qualunque sia la distanza dell'oggetto di cui si vuol fare il disegno.

La camera oscura si dispone anche come mostra la figura 349 ed allora prende il nome di *camera oscura a prisma.*

In un astuccio di ottone A trovasi un prisma triangolare P, rappresentato nella figura 350, il quale fa contemporaneamente l'ufficio di lente convergente e di specchio, perchè una delle sue facce è piana e le altre hanno una tale curvatura che le loro rifrazioni combinate, all'ingresso ed all'emergenza dei raggi, producono l'effetto di un menisco convergente C (fig. 303). Ne risulta che i raggi emessi da un oggetto AB, dopo essere entrati nel prisma ed avere subita la riflessione totale sulla faccia *cd*, formano in *ab* una immagine reale di AB.

La tavoletta B (fig. 349) corrisponde al fuoco del prisma contenuto nell'astuccio A, e quindi l'immagine degli oggetti esterni si forma sopra un foglio di carta collocato su questa tavoletta. Si cinge l'apparato con una cortina nera, ed il disegnatore, collocandosi sotto alla medesima, trovasi compiutamente all'oscuro. La tavoletta si toglie ad arbitro, ed i piedi si ripiegano per mezzo di cerniere; e così questo apparato, dovuto a Chevalier, riesce facilmente portatile.

484. **Camera chiara.** — La *camera chiara* o *camera lucida*, è un piccolo apparato di cui si fa uso per ottenere una immagine esatta di un paesaggio, d'un monumento o di qualsiasi altro oggetto. Un apparato di questo genere fu immaginato per la prima volta da Wollaston nel 1804. La camera chiara di questo fisico consiste in un piccolo prisma di vetro a quattro facce, del quale la figura 351 rappresenta una sezione perpendicolare agli spigoli. L'angolo A è retto, l'angolo C è di 135 gradi e ciascuno degli angoli B e D è di 67 gradi e mezzo. Questo prisma è sostenuto da un piede formato di due pezzi scorrevoli l'uno entro l'altro, per mezzo del quale si può alzarlo od abbassarlo ad arbitrio; inoltre si può farlo ruotare più o meno in direzione perpendicolare a'suoi spigoli. Ciò posto, se si volge la faccia AB verso l'oggetto di cui vuolsi avere l'immagine, i raggi da esso partiti cadono quasi perpendicolarmente su questa faccia, vi penetrano senza rifrangersi sensibilmente, indi subiscono la riflessione totale sulla faccia BC,

perchè essendo *ab* normale alla faccia BC, si riconosce facilmente che l'angolo d'incidenza *Lna* e l'angolo B sono eguali avendo i loro lati rispettivamente perpendicolari; e siccome l'angolo B è di circa 67° così l'angolo *an*L è maggiore dell'angolo limite del vetro (440), epperò avviene la riflessione totale. Giunti in *o*, i raggi subiscono ancora la riflessione totale ed escono vicinissimi al vertice D in una direzione pressochè perpendicolare alla faccia DA, di maniera che l'occhio, il quale riceve questi raggi, vede, in L', l'immagine dell'oggetto L. Seguendo allora con una matita i contorni dell'immagine, se ne ottiene un disegno esattissimo. Si presenta però qui una difficoltà rilevante, quella cioè di vedere simultaneamente l'immagine e la

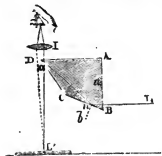
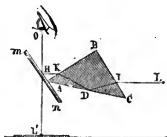



Fig. 351. *Fig.* 352.

punta della matita, perchè i raggi derivanti dall'oggetto danno un'immagine che è più lontana dall'occhio che non la matita. Si corregge questo difetto interponendo tra l'occhio ed il prisma una lente I, la quale fa che i raggi provenienti dalla matita e quelli partiti dall'oggetto divergano egualmente. Ma bisogna pur anco avere l'avvertenza di collocare l'occhio assai vicino al lembo del prisma ed in modo che l'apertura della pupilla si trovi divisa in due parti, l'una delle quali veda l'immagine, l'altra la matita.

Chevalier arrecò importanti perfezionamenti alla camera chiara di Wollaston. Siccome l'immagine o la matita cessano d'essere visibili distintamente quando è troppo differente l'intensità della luce che le rischiara, così egli adattò all'istrumento dei vetri colorati che si interpongono o dal lato dell'oggetto o da quello della matita, e, intercettando in parte la luce, rendono la sua distribuzione più uniforme.

Amici immaginò una camera chiara la quale è preferibile a quella di Wollaston, perchè l'occhio può fare moti alquanto estesi senza che cessino d'essere visibili l'immagine e la matita, il che non si può ottenere coll'apparecchio poc'anzi descritto. La camera chiara di Amici è composta di un prisma rettangolo ABC (fig. 352), di vetro, di cui si volge uno dei lati dell'angolo retto verso l'oggetto che si vuol guardare, e l'altro lato risulta perpendicolare ad una lamina di vetro inclinata *mn*. I raggi, come LI, emessi dall'oggetto e penetranti nel prisma, subiscono la riflessione totale sul suo lato maggiore ed emergono in una direzione KH. Allora, riflettendosi parzialmente sopra una lamina di vetro, formano, per l'occhio che li riceve, una immagine dell'oggetto L in L'. L'occhio che vede questa immagine distingue benissimo contemporaneamente la matita attraverso alla lamina di vetro, e perciò si possono copiare gli oggetti con una grande precisione.

FOTOGRAFIA.

485. **Daguerrotipo.** — Il *Daguerrotipo*, così detto dal nome del suo inventore, è un apparecchio che serve a fissare, sopra sostanze *sensibili* alla luce, le immagini formate nella camera oscura (483) da lenti di convergenza.

L'arte di ottenere per tal guisa immagini di oggetti per l'azione della luce, ricevette il nome di *fotografia*. Si distingue la *fotografia sopra piastre metalliche*, la *fotografia sopra carta* e la *fotografia sul vetro*.

Sino dal 1770 il celebre chimico svedese Schéele aveva riconosciuto che il cloruro d'argento, il quale si conserva bianco nella oscurità, annerisce per l'azione della luce. In appoggio a questa proprietà del cloruro d'argento si potevano già riprodurre delle incisioni, esponendo alla luce solare un foglio di carta intonacato di questa sostanza e coperto da un'incisione. Siccome la luce solare è intercettata dalle parti nere dell'incisione, la carta preparata col cloruro viene annerita soltanto nelle parti che corrispondono ai chiari dell'incisione e le altri parti restano bianche. Adunque nella copia così ottenuta le tinte sono rovesciate, cioè i neri sono diventati chiari ed inversamente. Inoltre, questa copia ha il difetto di non poter essere conservata se non nell'oscurità, perchè, appena esposta alla luce, annerisce in tutte le sue parti e scompare.

Rimaneva adunque a produrre delle immagini senza inversione di lumi e d'ombre ed a fissarle, cioè a renderle insensibili all'azione della luce, dopo la loro formazione. Charles, in Francia, Wedgwood e Davy in Inghilterra s'occuparono della soluzione di questo problema, che fu poi data da Niepce e Daguerre. Il primo, dopo pazienti ricerche continuate dal 1814 al 1829, era pervenuto a formare, sopra una lastra di rame coperta d'argento, un'immagine inalterabile alla luce, in cui le tinte chiare e scure erano disposte come nell'oggetto. Ma nel processo di Niepce, ove la sostanza sensibile era il bitume di Giudea immerso in seguito in una mescolanza d'olio di lavanda e di petrolio, l'azione della luce dovevasi protrarre da 10 a 12 minuti; epperò con questo processo non si potevano ottenere ritratti.

Nel 1829, Niepce comunicò il suo processo a Daguerre, già conosciuto per l'invenzione del *diorama* e che da parecchi anni occupavasi delle medesime ricerche; solo dopo un lavoro di 10 anni Daguerre pubblicò, nel 1839, quella bella scoperta che fece tanto rumore in Francia e fuori. Niepce, morto tre anni prima, non potè raccogliere quella parte di gloria che pur gli era sì meritamente dovuta.

Il processo di Daguerre consta di cinque principali operazioni: 1.ª il pulimento della lastra di rame coperta di una lamina sottile d'argento sopra la quale si dee formare l'immagine; 2.ª la deposizione, che si fa su questa piastra, dello *strato sensibile*, della sostanza cioè che la rende atta a ricevere le impressioni della luce; 3.ª l'esposizione della lastra all'azione della luce nella camera oscura per avere la produzione dell'immagine; 4.ª l'esposizione della lastra ai vapori di mercurio che fanno apparire l'immagine; 5.ª la fissazione dell'immagine.

La pulitura è un'operazione molto importante, che decide del successo dell'esperimento. La si incomincia con fiocchi di cotone bagnati con piccola quantità d'alcoole e spolverizzati con tripoli, e vi si dà compimento con del rosso d'Inghilterra ed un lisciatoio di pelle.

La lamina pulita viene esposta per 2 minuti circa su una piccola cassa rettangolare al vapore d'iodio, che reagendo sull'argento, ne trasforma in ioduro d'argento la parte superficiale. Si riconosce che la piastra è sufficientemente iodata allorchè ha preso un bel colore giallo d'oro tendente al rosso sugli orli. Allora la piastra è atta a ricevere l'azione della luce, ma soltanto per riprodurre delle

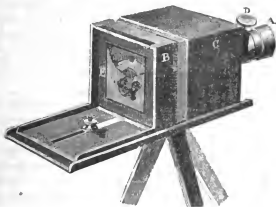
vedute o per copiare oggetti d'arte. Essa non potrebbe ancora adoperarsi per i ritratti, perchè non può ricevere impressione quando l'azione della luce non si prolunghi per 8 o 10 minuti. Volendo servirsene per ritratti, bisogna sottometterla all'azione di sostanze *acceleratrici*, che aumentino cioè la sensibilità dello strato d'ioduro e facciano che l'immagine si riproduca in pochi secondi. Queste sostanze consistono in una soluzione acquosa di bromo od in bromuro di calcio solido. La lamina si espone al vapore d'una di queste sostanze per 30 secondi od un minuto all'incirca, fino a che prenda una tinta rossa assai intensa senza passare al violetto. Dopo di aver bromata la lamina la si riporta sulla cassa d'iodio, ove la si lascia *esattamente* la metà del tempo che vi era rimasta la prima volta.

La piastra è allora abbastanza sensibile all'azione della luce. Perciò le preparazioni indicate si fanno in un luogo poco lumeggiato, e, quando sono terminate, la piastra si pone entro un piccolo telajo di legno e la si copre dal lato ove trovasi l'argento con un diaframma, pure di legno, scorrevole nel telajo e che si può levare a piacere, e dall'altra parte con un'imposta a cerniera che si applica su di essa e la tiene fissa entro l'intelajatura. In questo stato la piastra viene introdotta in una piccola camera oscura portatile di legno, che è rappresentata nella figura 353 e che costituisce l'apparato conosciuto generalmente sotto il nome di Daguerrotipo.

Quest'apparato, che si compone d'una parte fissa C e d'una parte mobile B, è una vera camera oscura a cassetto (483). In un tubo di ottone, A, trovasi l'obiettivo, il quale consiste in una lente convergente acromatica che si fa avanzare o retrocedere mediante un'asta dentata ed un piccolo rocchetto, che si fa girare colla mano per mezzo di un'asta con bottone D. La parete opposta all'obiettivo è formata di una lastra di vetro smerigliato fissa in una cornice E, che si può levare. Ciò posto, se si tratta, per esempio, di ottenere un ritratto, si fa sedere la persona alla distanza di 4 o 5 metri davanti all'objettivo, poi si fa avanzare o retrocedere la cassa mobile B, finchè l'immagine che si produce rovesciata sopra la lastra di vetro apparisca ben distinta, il che accade quando la lastra è prossochè nel fuoco. Si finisce poi di collocarla nel fuoco, appressando o scostando l'objettivo mediante il bottone D. Nei ritratti si determina questa posizione

in rapporto agli occhi della persona, essendo questa la parte che nel ritratto si considera come centrale.

Trovato il fuoco, senza cangiare il posto della camera oscura, si leva la cornice E e la lastra di vetro, e vi si sostituisce il telajo contenente la lastra iodata. Ritirando poi il diaframma scorrevole, che copre la superficie d'argento, l'immagine, la quale prima si formava sul vetro, si produce sopra la piastra. Allora la luce dispiega la sua azione misteriosa e disegna sulla lamina una immagine

Fig. 353. ($a = 28$).

invisibile. Perchè questa riesca perfetta, la lamina deve restare esposta alla luce per un tempo che varia coll'objettivo, colla preparazione dello strato sensibile e coll'intensità della luce, e può essere da 8 a 50 secondi. Se l'esposizione alla luce fu troppo prolungata, la prova rimane bianca, ed è nera se l'esposizione fu di troppo breve durata.

Quando è tempo di troncare l'azione della luce, ciò che non può sapersi se non mediante una lunga pratica, si abbassa il coperchio scorrevole e si ritira l'intelajatura entro la quale la piastra si trova in una perfetta oscurità, ciò che è indispensabile come prima della sua introduzione nella camera oscura. Guardando la lamina in questo momento non è possibile lo scorgervi traccia d'immagine; per rendere visibile l'immagine si espone la piastra all'azione dei vapori di mercurio, collocandola sotto un angolo di 45° alla parte superiore di una cassa di legno destinata a quest'uopo, il cui fondo, di lamiera di ferro,

porta una cavità piena di mercurio. Con una piccola lampada ad alcoole si scalda questo liquido ad una temperatura da 60 a 75 gradi; allora i vapori di mercurio si depositano abbondantemente, in forma di impercettibili goccioline, sulle parti che furono fortemente illuminate, e, dopo qualche minuto, formano uno strato che costituisce i chiari della prova, mentre le altre parti restano nere in causa del brunito della piastra. L'immagine è allora visibile e può restare esposta alla luce. Però la lamina è ancora coperta, specialmente negli scuri, d'uno strato di ioduro d'argento assai sensibile che dà alla prova una tinta rossastra o violacea. Si fa sparire cotesta tinta lavando la lamina con una soluzione d'iposolfito di soda. Ma l'immagine non resiste allo sfregamento anche il più leggiero, il qual fenomeno sembra accennare che l'argento ed il mercurio non si sono amalgamati.

Allo scopo appunto di correggere questo difetto rimane ancora l'operazione che serve a fissare l'immagine; a questo effetto si lava la piastra con una diluita soluzione di cloruro d'oro e d'iposolfito di soda. In questa operazione si scioglie dell'argento, mentre una piccolissima quantità di oro si combina col mercurio e coll'argento della lamina; allora lo strato di mercurio deposto sull'argento, e che costituisce il chiaro della prova, aumenta in lucentezza, combinandosi coll'oro, d'onde risulta un assai notabile incremento d'intensità nei chiari dell'immagine. L'uso del cloruro d'oro devesi a Fizeau ed è il principale perfezionamento arrecato alla scoperta di Daguerre.

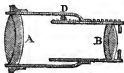



Fig. 354.

La figura 354 rappresenta una sezione dell'objettivo, cioè dell'apparecchio che serve a concentrare la luce sulla piastra ed a produrre l'immagine. Dapprima se ne costrussero con una sola lente bi-convessa, acromatica; ma non si tardò molto ad adoperare degli objettivi a due lenti acromatiche conosciuti sotto il nome di objettivi a vetri combinati. Queste lenti operano più prontamente degli objettivi ad una lente sola, hanno una distanza focale minore e con esse si può trovare assai facilmente la posizione del fuoco, avvicinando od allontanando dalla lente A la lente B, che è rivolta verso l'oggetto, mediante un'asta dentata ed un rocchetto D.

486. **Fotografia sulla carta.** — Col processo di Da-

guerre ora descritto le immagini si producono immediatamente sopra lastre metalliche, il che non avviene nella fotografia sulla carta, la quale comprende due parti distinte; nella prima si ottiene una immagine le cui tinte sono inverse, tali cioè che le parti più chiare dell' oggetto sono rappresentate dalle più oscure sulla carta, e reciprocamente; nell' altra si adopera la prima immagine per ottenerne una seconda in cui le tinte sono di nuovo rovesciate, e si trovano quindi nel loro ordine naturale. Questa seconda è l'*immagine positiva*; la prima è l'*immagine negativa*.

Le immagini negative si possono produrre sul vetro o sulla carta; oggidì si fanno generalmente sul vetro le negative pei ritratti, e sulla carta quelle dei paesaggi.

Immagini negative sul vetro. — Si pulisce una lastra di vetro sfregandola con un pannolino prima cosperso di tripoli stemperato nell'alcoole, poi soltanto bagnata con alcoole; indi la si ripulisce con una pelle di daino. L'esito dipende in gran parte dal pulimento della lastra.

Si dispone la lastra ben pulita in posizione orizzontale, e vi si versa nel mezzo del collodione liquido misto a soluzione di ioduro di potassio; poi si inclina la lastra in varii versi in modo di ottenere uno strato di collodione molto uniforme su tutta la sua superficie, e, finalmente, la si inclina verso uno degli angoli per lasciar sgocciolare il liquido esuberante.

Poco stante, l'etere del collodione si vaporizza e la superficie prende un aspetto velato. Allora si immerge la lastra in una soluzione che contiene 1 grammo di azotato d'argento per ogni 10 grammi d'acqua, e così l'ioduro di potassio si trasforma in ioduro d' argento. Questa operazione si deve fare in luogo oscuro, illuminato soltanto dalla fiamma di una candela o di una lampada coperta con vetro giallo-ranciato o con un cilindro di carta dello stesso colore. Si lascia la lastra nel bagno d'argento per circa un minuto, poi la si fa sgocciolare, e, quando è bene asciugata, si pone in un telajo chiuso e si colloca nella camera oscura di Daguerre (fig. 353), nello stesso modo già esposto per le lamine metalliche (485). Ivi, sotto la influenza della luce, l'ioduro d'argento incomincia a subire una decomposizione (466, 3.°), ma non apparisce ancora l'immagine, perchè l'azione non è stata abbastanza prolungata. Per rendere visibile l'immagine, si immerge il vetro in una soluzione di acido pirogallico e si riscalda

leggermente; in tutti i punti sui quali l'ioduro ha subito un principio di decomposizione si forma un pirogallato d'argento, che è nero, ed apparisce all'istante, l'immagine. Le parti di questa che trovansi in ombra, e che non subirono l'azione della luce, rimangono bianche perchè l'ioduro d'argento non è stato decomposto. Ma siccome questo ioduro annerirebbe per l'azione della luce, e, per conseguenza, scomparirebbe l'immagine, si lava il vetro con una soluzione di iposolfito di soda, la quale discioglie l'ioduro d'argento, per il che l'immagine si rende inalterabile all'azione della luce.

Immagini positive sulla carta. — L'immagine negativa serve a produrre un numero arbitrario di immagini positive. Perciò si colloca sopra la medesima una carta impregnata di cloruro d'argento, e, dopo di aver compresso i due fogli fra due lamine di vetro, si espone il tutto all'azione della luce in modo che le parti nere dell'immagine negativa facciano ombra sulla carta preparata col cloruro d'argento. Su di quest'ultima si riproduce allora una copia dell'immagine negativa, in cui alle parti rischiarate si sostituiscono delle ombre, e reciprocamente; epperò si ottiene così una immagine positiva. Si rende poi stabile l'immagine, lavando la carta, come si accennò più sopra, con una soluzione di iposolfito di soda. Finalmente, per dare all'immagine la opportuna intonazione, la si tiene immersa per alcune ore in un bagno di cloruro d'oro che contenga un grammo di cloruro per ogni litro d'acqua.

487. **Immagini positive sul vetro.** — Si ottengono belle immagini positive sul vetro preparando dapprima le lastre come per le negative (486); indi, allorchè si tolgono dalla camera nera, si immergono in una soluzione di solfato di protossido di ferro. Allora si manifesta subito una immagine negativa. Per renderla positiva, si immerge la lastra in un vase pieno d'acqua a fine di togliere l'eccedente solfato di ferro, poi vi si versa sopra una soluzione di cianuro di potassio che contenga una parte di cianuro per ogni 10 di acqua. L'immagine allora si spoglia delle parti annerite e diventa positiva. Dopo averla lavata, si copre di vernice da quadro, e, finalmente, si intinge tutta con uno strato di bitume di Giudea. Questa immagine si guarda poi dall'altra faccia della lastra.

488. **Fotografia sulle lastre di vetro albuminate.** — Le lastre di vetro preparate col collodione hanno

l'inconveniente che debbono essere adoperate tosto dopo la loro preparazione, mentre le lastre preparate all'albumina possono conservarsi per otto giorni e più, prima di sottoporle all'azione della luce; ma per converso l'azione della luce deve per queste lastre essere prolungata molto più che per quelle preparate col collodione. Perciò vengono adoperate soltanto per vedute e non servono pei ritratti.

Il processo di fotografia coll'albumina è dovuto a Niepce di Saint-Victor. Per preparare l'albumina si diguazza un certo numero di chiare d'uovo fino a farle spumeggiare, indi si lascia in quiete, si decanta, poi si aggiunge l'uno per cento di ioduro di potassio e il 25 per 100 di acqua. Così si ottiene un liquido che può essere conservato per parecchi giorni in un vase ben chiuso.

La lastra di vetro sulla quale si vuole stendere l'albumina deve essere accuratamente pulita, come quando si usa il collodione (486); indi si scalda moderatamente questa lastra per far aderire sulla faccia opposta a quella che deve servire per la operazione fotografica una estremità di un tubo di gutta perca.

Pigliando allora questo tubo, il quale serve di manico alla lastra, si versa sulla medesima uno strato del liquido albuminoso preparato come si è detto; indi, applicando ambe le mani al manico, lo si fa ruotare rapidamente tra le palme insieme colla lastra. La forza centrifuga spinge allora il liquido albuminoso sovrabbondante verso il lembo della lastra, d'onde si toglie col mezzo di una pipetta.

La lastra albuminata ed asciutta è collocata per un minuto in un bagno d'argento, che contiene per ogni 100 parti d'acqua 8 parti di azotato d'argento ed altrettante di acido acetico cristallizzabile. Quando si toglie dal bagno, può essere posta nella camera oscura anche umida; se vuolsi adoperarla asciutta bisogna togliere l'eccesso di argento lavandola con acqua distillata, poi farla asciugare in luogo oscuro: allora può essere conservata per parecchi giorni prima di farne uso.

Si espone all'azione della luce nella camera oscura, per circa 20 minuti, la lastra così preparata, poi si fa apparire l'immagine immergendola in una soluzione di acido gallico scaldata leggiermente alla lampada. Aggiungendo al bagno di acido gallico alcune goccie di una soluzione di azotato d'argento, si accelera di molto l'apparizione dell'immagine e si ottengono ombre più intense. Finalmen-

te, lavata la lastra in molta acqua, si fissa l'immagine coll'immergerla per 5 minuti in un bagno di iposolfito di soda, che contenga 8 parti di iposolfito per ogni 100 di acqua.

L'immagine così ottenuta è negativa e può servire a dare delle positive sul vetro albuminato o sulla carta (486).

489. **Lanterna magica.** — La *lanterna magica* è un piccolo apparecchio, che serve ad ottenere sopra un diaframma bianco, in una camera oscura, delle immagini assai ingrandite di piccoli oggetti. Consiste in una cassa di latta, entro la quale è collocata una lampada nel fuoco di uno specchio concavo A (fig. 355). I raggi riflessi da

Fig. 356.

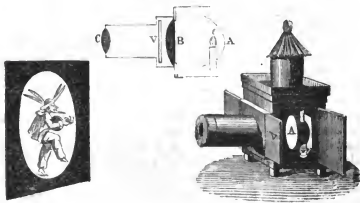



Fig. 355.

quest'ultimo sono ricevuti da una lente convergente B (fig. 356), che li concentra sopra diverse figure dipinte su di una lastra di vetro V. Queste figure, che per tal guisa trovansi fortemente rischiarate, sono situate davanti ad una seconda lente di convergenza C, ad una distanza alquanto maggiore della distanza focale principale. In questa posizione la lente produce, sopra un diaframma collocato ad opportuna distanza, un'immagine reale, rovesciata e molto ingrandita, degli oggetti dipinti sul vetro (455, 1.º). Per vedere diritta l'immagine bisogna aver cura di collocare nella lanterna il vetro dipinto, in modo che i disegni vi sieno rovesciati.

La lanterna magica fu inventata dal padre Kircher, gesuita tedesco, morto a Roma nel 1680.

L'ingrandimento ottenuto colla lanterna magica è, come per le lenti (460), il rapporto delle distanze della lente C dalla immagine e dall'oggetto. Per conseguenza, se l'immagine è 100 volte, 1000 volte più lontana dalla lente che l'oggetto, l'ingrandimento è di 100 o di 1000. È facile il comprendere come mediante una lente di corto fuoco si potranno ottenere, sopra un diaframma sufficientemente lontano, delle immagini straordinariamente ingrandite (455, 1.º).

490. **Microscopio solare**. — Il *microscopio solare* è una vera lanterna magica illuminata dai raggi solari, e che serve ad ottenere delle immagini assai ingrandite di piccolissimi oggetti. Questo strumento si adopera entro una camera oscura; la figura 357 lo rappresenta fissato all'imposta della camera, e la figura 358 ne mostra le parti interne.

Uno specchio piano M, situato al di fuori della camera oscura, riceve i raggi solari e li riflette sopra una lente di convergenza A, indi sopra una seconda lente E (fig. 358) chiamata *focus*, la quale li concentra nel suo fuoco. In questo punto si colloca l'oggetto di cui si vuole avere l'immagine; esso è posto tra due lastre di vetro O, che si introducono fra due lamine metalliche KK, le quali si comprimono l'una contro l'altra per mezzo di molle a spirale HH. Trovandosi allora l'oggetto fortemente illuminato e posto vicinissimo al fuoco d'un sistema di tre lenti L, molto convergenti, queste ne formano una immagine *ab* rovesciata ed assai ingrandita sopra un muro o sopra un diaframma bianco situato a conveniente distanza. Le viti a bottone D e C servono a regolare le distanze delle lenti E ed L dall'oggetto, in modo che questo sia precisamente nel fuoco della prima, e che l'immagine prodotta dalle lenti L corrisponda esattamente al diaframma.

Siccome la direzione della luce solare varia continuamente, è d'uopo che varii pure la direzione dello specchio posto al di fuori dell'apertura della camera oscura, onde far sì che la riflessione si produca invariabilmente secondo l'asse del microscopio. Il mezzo più esatto consisterebbe nell'uso dell'eliostato (434); ma siccome questo apparato è molto costoso, così vi si supplisce inclinando più o meno lo specchio M mediante una vite perpetua B (fig. 357) ed un rocchetto, e facendolo girare attorno alla lente A (fig. 358), per mezzo di un bottone A (fig. 357) che si muove entro una scanalatura fissa e trasmette il movimento allo specchio.

Il microscopio solare ha l'inconveniente di concentrare sopra l'oggetto un calore troppo intenso, che lo altera prontamente. Si può nondimeno rimediarvi coll'interporre uno strato di acqua satura d'allume che, avendo un debolissimo potere diatermico, arresta parte del calore (368).

L'ingrandimento che si ottiene col microscopio solare

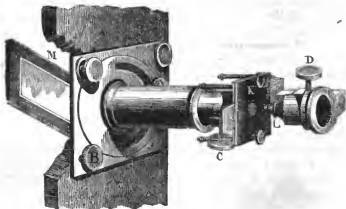



Fig. 357.

si può determinare sperimentalmente, mettendo in luogo dell'oggetto una lastra di vetro, che porta delle divisioni in decimi o centesimi di millimetro. Misurando allora sull'immagine l'intervallo fra queste divisioni, se ne deduce l'ingrandimento. Lo stesso processo può servire pel misco-

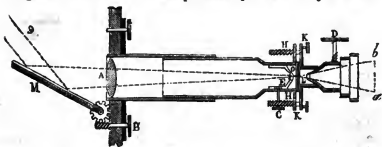



Fig. 358.

scopio foto-elettrico (491). A seconda dell'ingrandimento che vuolsi ottenere, l'obiettivo consta di una, di due o di tre lenti, tutte acromatiche.

Il microscopio solare può presentare a numerose adu-

sanze dei curiosissimi fenomeni, per esempio, la circolazione del sangue nella coda dei girini o nelle zampe della rana; la cristallizzazione dei sali e specialmente del sale ammoniaco, oppure gli animaletti che vedonsi nell'aceto, nella pasta di farina, nelle acque stagnanti, ecc.

491. **Microscopio foto-elettrico**. — Il microscopio *foto-elettrico* non è altro che un microscopio solare, il quale, in luogo di avere luce dal sole, è rischiarato dalla luce elettrica. Questa luce si preferisce alla solare perchè, mentre ha sufficiente intensità, è anche stabile e si può facilmente avere in qualunque tempo. Descriveremo qui soltanto il microscopio foto-elettrico propriamente detto; della luce elettrica parleremo nel trattato della elettricità.

Il microscopio foto-elettrico fu immaginato da Foucault e Donné. La figura 359 rappresenta la disposizione data da Duboscq a questo apparato. Sulla faccia esterna di una delle pareti di una cassa parallepipeda di ottone è fissato un microscopio solare ABD identico a quello descritto poc'anzi. Entro la cassa, si trovano due bacchette di carbone *a* e *c* le quali non sono a contatto, e l'intervallo tra le loro punte corrisponde esattamente all'asse della lente del microscopio. L'elettricità di una potente pila giunge pel filo K al carbone *a* e da questo passa al carbone *c*, il quale, a quest'uopo, deve essere stato posto dapprima in contatto col carbone *a*, indi allontanato alquanto. Allora l'elettricità è condotta dal carbone, che, volatilizzandosi, passa da *a* in *c*, poi dal carbone *c* giunge ad una colonna metallica, indi ad un altro filo di rame H da cui viene ricondotta alla pila. Ora, durante il passaggio della elettricità, gli estremi dei due carboni diventano incandescenti e diffondono una luce assai viva, che viene impiegata a rischiarare intensamente il microscopio. Per ciò, si colloca in D, nell'interno del tubo, una lente convergente il cui fuoco principale corrisponde appunto all'intervallo fra i due carboni. Così, i raggi luminosi che entrano nei tubi D, B, A sono paralleli al loro asse come nel microscopio solare ordinario, e per ciò, come in questo apparato, si forma sopra un diaframma E, più o meno lontano, una immagine molto amplificata di piccoli oggetti collocati fra due lamine di vetro in capo al tubo B. Nella figura 359 l'oggetto rappresentato sul diaframma è l'acaro della scabbia. Nell'apparato ora descritto i due carboni si consumano disugualmente, cioè *a* più rapidamente di *c*; ne segue che i due carboni vanno allontanandosi, e perciò la luce si

indebolisce ed anche cessa di prodursi. Più innanzi, parlando della luce elettrica, diremo come funzioni l'apparato P che porta i carboni e serve a tenere costante e fisso il loro intervallo.

L'apparato MN, toltine i tubi A, B, D, divenne tra le

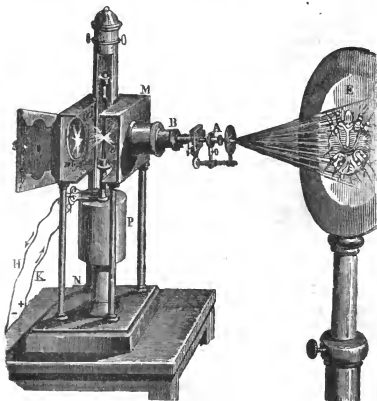



Fig. 359 ($a = 95$).

mani di Duboscq un *apparato fotogenico* universale; al microscopio ABD sostituendo successivamente delle figure di fantasmagoria, di poliorama, di megascopio, e degli apparati polarizzatori, si giunge a ripetere con questo solo apparecchio tutte le esperienze dell'ottica. Per ciò questo apparecchio viene vantaggiosamente surrogato oggidì a quello già conosciuto sotto il nome di *microscopio a gas*.

492. **Lenti, a gradinate, fari.** — Le lenti di grandi dimensioni sono di difficile costruzione; inoltre producono

una grande aberrazione di sfericità, e perdono di molto in trasparenza a motivo della loro grossezza. Per togliere questi inconvenienti si costruirono le *lenti a gradinate*. Queste lenti, immaginate da Buffon e perfezionate da Fresnel, sono formate da una lente centrale piano-convessa C (fig. 360 e 361), cinta da una serie di segmenti annulari e concentrici A, B, ciascuno dei quali ha una faccia piana situata dalla banda della faccia piana della lente centrale, mentre le facce opposte hanno curvature tali che i fuochi dei varii segmenti si formano nel medesimo punto. Il compleso di questi anelli forma adunque colla lente centrale una

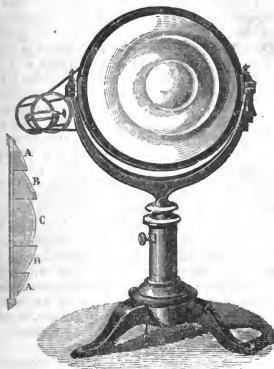



Fig. 361. *Fig. 360.*

lente unica di cui si vede la sezione nella figura 361. Questa rappresenta una lente del diametro di circa 60 centimetri, i cui segmenti annulari sono formati ciascuno di un solo pezzo di vetro. Però nelle lenti più grandi ogni segmento è formato di parecchi pezzi.

Dietro alla lente trovasi un sostegno fissato con tre

verghe, sul quale si pongono i corpi che vogliansi sottomettere all'azione dei raggi solari ricevuti sulla lente. Siccome il centro del sostegno corrisponde al fuoco principale, le sostanze che vi si collocano vengono fuse e volatilizzate dall'elevata temperatura che vi si produce. L'oro, il platino, il quarzo si fondono rapidamente. Facciamo notare come queste esperienze dimostrino che la rifrazione del calorico avviene colle stesse leggi di quella della luce, perchè il fuoco calorifico si forma allo stesso punto del fuoco luminoso.

Nei tempi passati si adoperavano degli specchi parabolici per trasmettere a grande distanza la luce dei *fari*. Così si denominano delle fiamme che si mantengono accese di notte, sulle spiaggie, per servire di guida ai nocchieri. Oggidì si adoperano esclusivamente le lenti a gradinate. Il fuoco è prodotto da una lampada a 3 o 4 lucignoli concentrici, la quale dà tanta luce come 15 lampade di Carcel. Collocato questo lume al fuoco principale di una lente a gradinate, dal lato della faccia piana, i raggi emergenti formano un fascio parallelo (fig. 306) che perde d'intensità soltanto pel suo passaggio attraverso all'atmosfera (471), e può essere visibile sino alla distanza di 60 o 70 chilometri. Per ottenere che tutti i punti dell'orizzonte siano successivamente illuminati da uno stesso faro, si fa muovere la lente attorno alla lampada per mezzo di un meccanismo di orologieria, il quale le fa compiere una rotazione in un tempo che varia da faro a faro. Ne segue, che pei differenti punti dell'orizzonte avviene successivamente apparizione ed ecclissamento della luce ad intervalli eguali di tempo. Questi ecclissi servono ai marinai per contraddistinguere i fari dai fuochi accidentali; inoltre dal numero di ecclissi che si succedono in un tempo determinato essi possono argomentare qual faro, e per conseguenza quale spiaggia, si trovi alla loro vista.

CAPITOLO VI.

DELL'OCCHIO CONSIDERATO COME STRUMENTO D'OTTICA.

493. Struttura dell'occhio umano. — L'*occhio* è l'organo in cui ha sede la *visione*, cioè il fenomeno pel quale la luce emessa o riflessa dai corpi produce in noi la sensazione, che ci avverte della loro presenza.

L'occhio è situato in una cavità ossea detta *orbita*, entro la quale può eseguire movimenti molto variati ed estesi, ed è trattenuto dai muscoli che

servono a muoverlo, dai nervo ottico, dalla congiuntiva, dalle palpebre e dalla aponeurosi orbito-oculare. Il suo volume è presso a poco lo stesso in tutti gli individui, e sembra maggiore o minore soltanto a motivo dell'apertura variabile delle palpebre.

La figura 362 mostra una sezione trasversale dell'occhio dall'avanti all'indietro. Si vede che la sua forma generale è quella di uno sferoide, la cui curvatura, alla parte anteriore, è più risentita che alla posteriore. Nell'occhio sono a notarsi specialmente la *cornea*, l'*iride*, la *pupilla*, l'*umore acqueo*, il *cristallino*, l'*umor vitreo*, la *coroide*, la *retina* ed il *nervo ottico*.

Cornea. — La cornea *a* è una membrana trasparente situata nella parte anteriore del globo dell'occhio. La sua forma è sensibilmente quella di una calotta sferica avente una base di 11 a 12 millimetri di diametro. La sua circonferenza, tagliata ad ugnatura verso la sua faccia esterna, si incastra nella sclerotica *i*, e l'aderenza di queste due membrane è tale che alcuni anatomici le hanno considerate come una membrana unica.

Sclerotica. — La sclerotica *i* è una membrana che, insieme alla cornea, avviluppa tutte le parti costituenti l'occhio. Essa presenta sul davanti un'apertura quasi circolare, nella quale è incastrata la cornea; alla parte posteriore ed interna ha un foro pel quale passa il nervo ottico.

Fig. 362.

Iride. — L'iride *d* è un diaframma annulare, opaco, aderente pel suo perimetro esterno, e libero al suo margine centrale. Questa membrana è posta tra la cornea ed il cristallino, e costituisce la parte colorata dell'occhio. Essa ha una apertura che non trovasi precisamente al suo centro, ma alquanto verso la linea mediana del corpo; questa apertura, che nell'uomo è circolare, chiamasi pupilla. Essa è stretta ed allungata in direzione verticale in varii animali, specialmente in quelli del genere *felis*, e in direzione trasversale nei ruminanti. Per mezzo della pupilla penetrano nell'occhio i raggi luminosi. Il suo diametro è variabile in un medesimo individuo; in

media esso è di 3 a 7 millimetri, ma questi limiti sono talvolta oltrepassati. Le alternative d'ingrandimento e di restringimento della pupilla si effettuano con molta rapidità; esse sono assai frequenti ed hanno una parte importante nel fenomeno della visione. La pupilla si restringe sotto l'influenza di una viva luce, e si dilata, al contrario, nella oscurità. Sembra che i moti dell'iride siano involontarii.

Dietro quanto precede, l'iride è un diaframma di apertura variabile, il quale serve a moderare la quantità di luce che penetra nell'occhio; giacchè la grandezza della pupilla diminuisce al crescere della intensità della luce. L'iride serve anche a correggere l'aberrazione di sfericità coll'impedire che i raggi marginali attraversino i lembi del cristallino, cioè compie in riguardo all'occhio l'ufficio d'un diaframma negli strumenti d'ottica (458).

Umore acqueo. — Tra la parte posteriore della cornea e quella anteriore del cristallino evvi un liquido trasparente chiamato umore acqueo. Lo spazio *e*, occupato da questo umore, è diviso in due compartimenti dall'iride, la parte *b*, posta tra la cornea e l'iride, si chiama *camera anteriore*, e la parte *c*, che è tra l'iride e il cristallino, chiamasi *camera posteriore*.

Cristallino. — Il cristallino è un corpo lenticolare *f*, collocato dietro l'iride e molto vicino a questa membrana. È dotato di perfetta trasparenza e avviluppato in una membrana trasparente allo stesso grado e chiamata *capsula*. Questa aderisce col suo lembo alla corona annulare formata dai *processi ciliari*, *g*.

La faccia anteriore del cristallino ha minore convessità della posteriore. Il suo tessuto è composto di una serie di lamelle quasi concentriche, più dure al centro che alla periferia. Gli strati più superficiali sono teneri e quasi liquidi, e sono distinti col nome di *umore del Morgagni*. Il potere rifrattivo di questi strati decresce dal centro alla periferia.

Umore vitreo, membrana jaloidea. — Chiamasi umore vitreo una massa trasparente, paragonabile all'albume dell'uovo, che occupa tutta la parte *h* del globo dell'occhio situata dietro al cristallino. Il corpo vitreo è inviluppato nella membrana jaloidea *l*. Questa membrana copre la faccia posteriore della capsula del cristallino e tutta la faccia interna di un'altra membrana chiamata retina.

Retina, nervo ottico. — La retina *m* è una membrana destinata a ricevere l'impressione della luce ed a trasmetterla al cervello per mezzo di un nervo *n*, chiamato nervo ottico, il quale parte dal cervello, penetra nell'occhio e si spande a costituire la retina sotto forma di una rete nervosa.

La retina ed il nervo ottico non godono che della proprietà speciale di ricevere e di trasmettere al cervello l'impressione delle immagini, e sono affatto insensibili all'azione dei corpi vulneranti; di fatti, sono stati tagliati e punti, senza che gli animali sottoposti a questa prova abbiano manifestato il minimo dolore.

Coroide. — La coroide *k* è una membrana posta tra la retina e la sclerotica. Essa è essenzialmente vascolare e ricoperta, specialmente sulla sua

faccia interna, d'una materia nera simile al pigmento della pelle dei negri, e destinata ad assorbire tutti i raggi che non devono cooperare alla visione.

La coroide si protende in avanti, formando un seguito di pieghe sporgenti *g*, che si chiamano *processi ciliari* e che s'insinnano tra l'iride e la capsula cristallina, alla quale si congiungono formando attorno ad essa un disco assai somigliante a quello di un fiore raggiato. La coroide serve per mezzo del suo tessuto vascolare a trasportare il sangue nell'interno dell'occhio e specialmente ai processi ciliari.

494. Indici di rifrazione dei mezzi trasparenti dell'occhio. — Gli indici assoluti di rifrazione delle parti trasparenti dell'occhio sono stati determinati da Brewster, e si trovano esposti nella tabella seguente, insieme a quello dell'acqua, che serve di termine di confronto:

Acqua	1,3358	Inviluppo esterno del cristal.	1,3797
Umore acqueo	1,3366	Centro del cristallino	1,3990
Umore vitreo	1,3394	Rifrazione media del cristal.	1,3839

495. Curvatura e dimensioni delle diverse parti dell'occhio umano:

Raggio di curvatura della sclerotica	10 a 11	mill.
» della cornea	7 a 8	»
» della faccia anteriore del cristallino	7 a 10	»
» della faccia posteriore	5 a 6	»
Diametro dell'iride	11 a 12	»
» della pupilla	3 a 7	»
» della lente cristallina	10	»
Grossezza della lente cristallina	5	»
Distanza della pupilla dalla cornea	2	»
Lunghezza dell'asse dell'occhio	22 a 24	»

La curvatura della cornea, secondo Chossat, è quella di un ellissoide di rivoluzione attorno al suo asse maggiore, e la curvatura del cristallino quella di un ellissoide di rivoluzione attorno al suo asse minore.

496. Andamento dei raggi nell'occhio. — Dall'esame delle diverse parti che compongono l'occhio si desume che quest'organo può essere paragonato ad una camera oscura (483), della quale la pupilla è l'apertura, il cristallino la lente convergente, la retina il diaframma su cui si dipinge l'immagine. Il suo meccanismo adunque è analogo a quello pel quale, al fuoco conjugato di una lente bi-convessa, si forma l'immagine di un oggetto collocato all'altro fuoco. Suppongasi, infatti, posto davanti all'occhio un oggetto AB (fig. 363,) e si considerino i raggi emessi da un punto qualunque A di questo oggetto. Di tutti questi raggi quelli che sono diretti verso la pupilla sono i soli che penetrino nell'occhio e che siano utili alla visione. Questi raggi, al loro ingresso nell'umore acqueo, subiscono una prima rifrazione che li avvicina all'asse Aa, condotto dal centro ottico del cristallino; indi incontrano quest'ultimo, che li rifrange di nuovo come una lente bi-convessa, e, finalmente, dopo avere subita un'ultima rifrazione nel-

l'umore vitreo, concorrono in un punto *a* e vi formano l'immagine del punto A. Siccome i raggi partiti dal punto B concorrono parimenti a formare in

Fig. 363.

b l'immagine di questo punto, così ne risulta un'immagine *ab* molto piccola, reale e rovesciata, che si forma esattamente sopra la retina quando l'occhio è ben conformato.

497. Rovesciamento delle immagini. — Per assicurarsi che le immagini formate sulla retina sono realmente rovesciate, si prende un occhio d'albino in cui la coroide è priva di pigmento e quindi lascia libero passaggio alla luce, e se ne spoglia la parte posteriore del tessuto cellulare che la inviluppa. Così preparato, si fissa quest'occhio ad un'apertura praticata nell'imposta di una camera oscura, ed allora, per mezzo di una lente, si vede

Fig. 364.

che si dipingono sulla retina le immagini rovesciate degli oggetti esterni. Il rovesciamento delle immagini nell'occhio ha occupato molto i fisici ed i fisiologi, e numerose teorie furono proposte per ispiegare come gli oggetti si vedano diritti. Gli uni hanno ammesso che l'abitudine ed una vera educazione dell'occhio ci faccia vedere gli oggetti raddrizzati, cioè nella loro posizione relativa rapporto a noi. Altri pensano che siccome noi riferiamo il luogo reale degli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che essi emettono, e siccome questi raggi s'incrociano nel cristallino (fig. 363), l'occhio vede i punti A e B rispettivamente nelle direzioni A*a*, e B*b*: epperò l'oggetto sembra diritto. Tale era l'opinione di d'Alembert. Muller, Volkmann ed altri sostengono che siccome noi vediamo simultaneamente tutti gli oggetti a rovescio, così nessuno di essi ci può sembrare rovesciato, poichè non ci rimane più verun termine di confronto. Nessuna però di queste teorie è abbastanza soddisfacente.

498. Asse ottico, angolo ottico, angolo visuale. — Si chiama *asse*

ottico principale di un occhio il suo asse di figura, cioè la retta rispetto alla quale esso è simmetrico. In un occhio ben conformato è la retta Oo che passa pei centro della pupilla e pel centro del cristallino (fig. 363). Le linee Aa Bb, sensibilmente rette, sono assi secondarii. Nella direzione dell'asse ottico principale l'occhio vede gli oggetti più distintamente.

L'angolo ottico è l'angolo BAC (fig. 364) formato dagli assi ottici principali dei due occhi, quando sono diretti verso un medesimo punto. Quest'angolo è tanto più piccolo quanto più gli oggetti sono lontani.

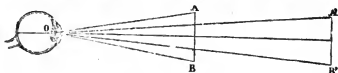



Fig. 365.

L'angolo visuale è l'angolo AOB (fig 365) sotto cui è veduto un oggetto, cioè l'angolo formato dagli assi secondarii condotti pel centro ottico del cristallino alle estremità opposte dell'oggetto. Per una medesima distanza quest'angolo decresce colla grandezza dell'oggetto, e per un medesimo oggetto decresce colla distanza, come avviene, per esempio, quando l'oggetto passa da AB in A'B'. Da ciò risulta che gli oggetti sembrano tanto più piccoli quanto più sono lontani, perchè, incrociandosi gli assi secondarii AO, BO al centro del cristallino, la grandezza dell'immagine projettata sulla retina dipende dal valore dell'angolo visuale AOB.

499. Valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti. — La valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti dipende dal concorso di molte circostanze, quali sono: l'angolo visuale, l'angolo ottico, il paragone con oggetti la cui grandezza ci è nota, la diminuzione di chiarezza dell'immagine per l'interposizione di un'aria più o meno carica di vapori.

Quando si conosce la grandezza di un oggetto, come avviene della statura di un uomo, dell'altezza di un albero o di un edifizio, se ne misura la distanza dietro l'apertura dell'angolo visuale sotto cui lo si vede. Se la grandezza dell'oggetto è sconosciuta, la si giudica relativamente a quella degli oggetti che lo circondano.

Le colonne o gli alberi, disposti in fila, ci sembrano diminuire di grandezza a misura che la loro distanza aumenta, perchè l'angolo visuale decresce: ma il giudizio a cui ci condurrebbe quest'apparenza è corretto dall'abitudine di vedere delle colonne, degli alberi in tali condizioni da poterne valutare l'altezza. Così pure, quantunque le montagne molto lontane si vedano sotto un angolo assai piccolo ed occupino poco spazio nel campo della visione, pure, abituati agli effetti di prospettiva aerea, noi ne valutiamo la grandezza reale.

L' angolo ottico è pure un elemento essenziale per apprezzare la distanza. Siccome quest' angolo aumenta o diminuisce a misura che gli oggetti si avvicinano o si allontanano, i movimenti che imprimiamo ai nostri occhi, affinchè i loro assi ottici concorrano verso l' oggetto che guardiamo, ci dà l' idea della sua distanza. Però solamente per una lunga abitudine noi giungiamo a stabilire così una relazione tra la distanza degli oggetti ed i movimenti corrispondenti dei nostri occhi. Infatti, si osserva che i ciechi dalla nascita, ai quali siasi resa la vista coll' operazione della cataratta, giudicano da principio che tutti gli oggetti si trovino alla medesima distanza.

500. Distanza della visione distinta. — Chiamasi *distanza della visione distinta* la distanza alla quale devono essere collocati gli oggetti per essere veduti colla maggiore chiarezza. Questa distanza è varia nei diversi individui, e soventi anche nel medesimo individuo varia da un occhio all' altro. Per piccoli oggetti, come sono i caratteri da stampa, quando l'occhio trovasi allo stato normale, essa è di 25 a 30 centimetri. Le persone che vedono distintamente soltanto a distanza minore sono *miopi*, e quelle che vedono solo ad una distanza maggiore sono *presbiti* (511).

501. Adattamento dell'occhio a tutte le distanze. — L' occhio presenta una notabile proprietà che non si trova nel medesimo grado in nessuno strumento d' ottica; ed è che, quantunque le immagini tendano a formarsi tanto più all' innanzi della retina quanto più gli oggetti sono lontani (455), pure esse si formano sempre sopra questa membrana, giacchè l' occhio vede chiaramente a distanze molto differenti, partendo da quella che corrisponde alla visione distinta. Tuttavia se noi possiamo vedere chiaramente a distanze molto differenti, non possiamo però farlo simultaneamente, onde si desume che avviene qualche modificazione nel sistema dell'occhio, od almeno che bisogna fissare la nostra attenzione sull' oggetto che vogliamo vedere. Infatti, se si prendono di mira due oggetti allineati, disposti, per esempio, uno alla distanza di un metro dell'occhio, l'altro di due, fissando il primo oggetto, il secondo sembra torbido, mentre fissando il secondo sembra invece torbido il primo. Se ne conchiude, che quando l'occhio è stato disposto per vedere ad una certa distanza, non può simultaneamente vedere ad un' altra distanza, ma che può successivamente adattarsi all' una ed all' altra.

Molte ipotesi sono state proposte per ispiegare come l' occhio possa vedere chiaramente a distanze molto differenti. Mile e Pouillet ne assegnano per causa le dilatazioni e le contrazioni della pupilla. Il primo opina che i raggi luminosi provino sul lembo dell'iride una diffrazione od inflessione, che può fare variare moltissimo le distanze focali. Pouillet, fondandosi sull' ineguale rifrangibilità del cristallino, la quale decresce dal centro alla circonferenza, e osservando che ne deve risultare una serie di fuochi, i più vicini dei quali sono formati dai raggi che attraversano il cristallino più presso al suo centro, ammette che, aprendosi più o meno la pupilla, gli oggetti lontani sono veduti attraverso ai lembi del cristallino, ed i più vicini

attraverso alla parte centrale. Si osserva infatti, che le contrazioni o le dilatazioni del foro pupillare sono collegate coll'adattamento dell'occhio alle distanze; ma importa notare ch'esse dipendono anche dalle variazioni d'intensità della luce, e che, per una medesima distanza, l'apertura della pupilla può essere molto variabile.

Rhoaut, Olbers ed altri hanno emessa l'opinione che il diametro dell'occhio, dall'innanzi all'indietro, possa variare sotto l'influenza della pressione dei muscoli che fanno muovere quest'organo, in modo di avvicinare la retina al cristallino o di allontanarnelo, nel medesimo tempo che anche l'immagine si avvicina o s'allontana, giacchè ci è noto (451) che nelle lenti convergenti l'immagine s'avvicina a misura che l'oggetto s'allontana.

Hunter e Young hanno attribuito al cristallino una contrattilità, in virtù della quale esso prenda una forma più o meno convessa in modo di far sempre convergere i raggi sulla retina.

Keplero, Camper e molti altri hanno ammesso che, per l'azione dei processi ciliari, il cristallino può spostarsi ed avvicinarsi più o meno alla retina.

Infine si ammise che la chiarezza della visione a distanze molto differenti può provenire non già dagli spostamenti della retina o del cristallino, per cui l'immagine venga a formarsi sempre sulla retina, ma dalla piccolezza delle variazioni della distanza focale del cristallino, a misura che gli oggetti s'allontanano, onde risulta che l'immagine conservi sempre una chiarezza sufficiente.

Quest'ultima teoria è confermata dalle esperienze di Magendie e da quelle di De-Haldat. Il primo ha osservato, per mezzo dell'occhio di un albino, che la chiarezza delle immagini non variava per oggetti collocati a distanze molto differenti; e De-Haldat ha trovato che, collocando un cristallino come objettivo all'imposta di una camera oscura, si ottengono, sopra un vetro smerigliato, delle immagini egualmente chiare degli oggetti esterni che si trovano alla distanza di 3 a 4 decimetri, e di quelli che sono distanti da 20 a 30 metri. Cosifatta proprietà del cristallino allo stato d'inerzia sembra contraria alla legge di rifrazione e dev'essere attribuita alla struttura di quest'organo, per la quale esso è affatto distinto dalle lenti ordinarie.

502. Visione semplica coi due occhi. — Allorchè gli occhi si fissano sopra un medesimo oggetto, si forma sopra ciascuna retina una immagine, e tuttavia noi non vediamo che un solo oggetto. Per ispiegare la visione semplice coi due occhi, Gassendi ammetteva che in un medesimo istante la percezione non ha luogo che per l'una o per l'altra immagine, il che non può ammettersi dopo le esperienze di Weathstone, che riporteremo più innanzi.

Taylor e Wollaston sono d'opinione che due punti omologhi di destra o di sinistra, sulle due retine, corrispondano ad un medesimo filamento nervoso cerebrale destro o sinistro biforcato all'incrocicchiamento dei due nervi ottici. Questa opinione s'accorda con un fatto che si osserva in alcuni individui, ed è la paralisi transitoria della retina, per una sola metà e dalla medesima parte per ciascun occhio, destro o sinistro simultaneamente, in modo che

essi non vedono che la metà destra o la sinistra degli oggetti. Wollaston ed Arago hanno osservato sopra loro stessi questa affezione della retina.

Brewster attribuisce la visione semplice all'abitudine, che noi acquistiamo di riferire ad un medesimo oggetto le impressioni simultanee prodotte sulle due retine.

Ecco i principali fatti che si osservano nella visione con due occhi:

Si vede più chiaro con due occhi che con un solo; poichè guardando un oggetto prima con un solo occhio e poi con due, la differenza di chiarezza è molto sensibile.

Quando i due occhi sono fissati ciascuno sopra un oggetto differente, in modo che i due assi ottici concorrano al di là o al di qua di questi oggetti, possono prodursi delle illusioni ottiche singolari. Per esempio, se si osservano due oggetti identici e di piccole dimensioni *a* e *b*, col mezzo di due tubi isolanti, che diano agli assi ottici dei due occhi le direzioni concorrenti *a*O e *b*O (fig. 366), non si vede che un oggetto unico più lontano situato al punto d'incontro O dei due assi.

Se il punto di incrociamento dei due assi è davanti ai punti che si guardano (fig. 367), si vede ancora un solo oggetto, ma più vicino, situato in O.

Se gli oggetti *a* e *b* sono due piccoli dischi, l'uno rosso e l'altro verde, si vede un disco bianco, perchè il verde ed il rosso sono due colori complementari (465). Queste diverse esperienze dimostrano che le impressioni negli occhi sono simultanee e si sovrappongono per produrre una sensazione unica.

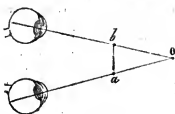
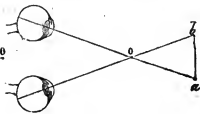



Fig. 366. *Fig.* 367.

503. CAUSE DELL'APPARENTE RILIEVO DEI CORPI. — Si devono a Weathstone delle esperienze numerose che dimostrano una differenza essenziale tra la visione con due occhi e la visione con un occhio solo. Da queste esperienze risulta che soltanto coi due occhi si può avere una percezione ben chiara del rilievo dei corpi, cioè delle loro tre dimensioni. È anzi probabile che noi giudichiamo del rilievo anche con un solo occhio soltanto perchè gli oggetti che noi guardiamo ci sono generalmente noti. Infatti, nella visione coi due occhi, quando l'oggetto è a poca distanza, dovendo i due assi convergere verso l'oggetto, ne risulta che la prospettiva cangia per ciascun occhio e che le due immagini sono sensibilmente ineguali; il che si può facilmente constatare guardando alternativamente un medesimo

oggetto con ciascun occhio. Supponiamo, per esempio, che si guardi dall'alto una piccola piramide regolare C a base esagona (fig. 369), collocandosi in modo che la verticale condotta pel suo vertice passi esattamente fra i due occhi. Restando gli occhi ambedue aperti, la si vede come è rappresentata nella figura 369. Ma se, conservando la stessa posizione, si chiude l'occhio sinistro, allora l'occhio destro vede la piramide come dimostra la figura 370, cioè appariscono le facce laterali di sinistra più in iscorcio che quelle di destra. Al contrario, chiudendo l'occhio destro, col sinistro si vede la piramide come è rappresentata dalla figura 368, cioè si vedono più in iscorcio le

Fig. 368. *Fig.* 369. *Fig.* 370.

facce laterali di destra. Adunque le immagini percepite dai due occhi non sono identiche: rimane a constatare coll'esperienza che il rilievo apparente dei corpi risulta appunto dalla percezione simultanea di queste due immagini.

504. Stereoscopio. — Appoggiandosi alle considerazioni precedenti, Wheatstone immaginò, nel 1838, un apparato ingegnoso per mezzo del quale si vedono in rilievo le immagini di oggetti a tre dimensioni disegnate sopra una superficie piana. Di qui il nome di stereoscopio dato ad un tale apparato (*).

Il principio fondamentale dello stereoscopio consiste nel collocare davanti a ciascun occhio una immagine d'uno stesso oggetto, l'una delle quali però è disegnata colla prospettiva dell'occhio destro e l'altra con quella del sinistro. Disposto allora l' apparato in modo che ciascun occhio veda soltanto l'immagine che gli è destinata, e le due immagini si sovrappongano, è evidente che su ciascuna retina si produrrà precisamente la stessa immagine come se si guardasse l'effettivo oggetto. Difatti, si ottiene in tal modo una percezione così viva e distinta del rilievo, che la illusione è completa e sorprendente.

Nello stereoscopio costrutto da Wheathstone, la sovrapposizione delle due immagini si otteneva per mezzo di due specchi piani. Ma nello stereoscopio modificato da Brewster, come oggidì viene costrutto, tale sovrapposizione si ottiene per mezzo di due lenti di convergenza. La figura 371 mostra l'andamento dei raggi nell'apparato. In A trovasi la figura che deve esser veduta dall'occhio sinistro, in B l'altra. Vi stanno sopra due lenti, *m*, *n*,

(*) Leonardo Da Vinci immaginò, come si sa, pel primo, un tale apparato.
(*Nota dei Trad.*)

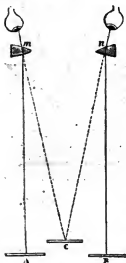
che sono gli oculari dei due occhi. Ora, i raggi partiti dai punti omologhi delle immagini si rifrangono al loro passaggio in queste lenti e prendono le stesse direzioni come se fossero partiti dal punto c. In questo punto adunque si sovrappongono le immagini virtuali delle figure A, B, ed ivi appare l'oggetto fedelmente rappresentato. Collocando, per esempio, in B ed A le figure 368 e 370, si vedrà in C una immagine unica e rilevata della piramide come è rappresentata nella figura 369.

È necessario che le due lenti m ed n producano precisamente la stessa deviazione dei raggi, e per ciò esse devono essere identiche. Brewster raggiunse questo risultato tagliando per metà una lente bi-convessa e collocando la metà di destra davanti all'occhio sinistro, e l'altra davanti al destro, come indica la figura 371.

Fig. 371.

Per mezzo dello stereoscopio Foucault e il dottore Régnault hanno constatato che l'impressione simultanea di due colori differenti sulle due retine produce la sensazione di un colore unico misto, ma che però l'attitudine a comporre le due tinte in una sola varia notabilmente da un individuo all'altro e che in alcuni può essere debolissima od anche nulla. Illuminando con due fasci di colori complementarii (465) due dischi bianchi collocati sul fondo dello stereoscopio e guardando ciascuno dei due dischi con un occhio, si vede un disco bianco unico, la qual cosa dimostra che la sensazione della luce bianca può nascere da due impressioni cromatiche complementarie e simultanee sulle due retine.

505. Parte insensibile della retina. — La retina non è egualmente sensibile in tutte le sue parti, come prova l'esperienza seguente dovuta a Mariotte: si segnano due punti neri sopra una carta bianca, ad alcuni centimetri di distanza uno dall'altro, poi, avvicinando molto la carta agli occhi, si fissa il punto sinistro coll'occhio destro, il che non impedisce di vedere l'altro punto; ma se si allontana lentamente la carta, il punto che trovasi a destra sparisce ad una certa distanza per ricomparire ben tosto se si continua ad allontanare la carta. La stessa cosa accade se si osserva il punto destro coll'occhio sinistro.

Mariotte ha osservato che al momento in cui il punto cessa di essere visibile, la sua immagine si dipinge appunto sopra l'inserzione del nervo ottico alla parte interna ed inferiore dell'occhio. Si è dato il nome di *punto cieco* a questo punto insensibile all'azione della luce.

506. Persistenza dell'impressione sulla retina. — Quando si fa girare con rapidità un carbone acceso, si vede come un nastro continuo di fuoco; parimenti la pioggia che cade sotto la forma di grosse gocce ci appare

nell'aria come un complesso di fili liquidi. Queste varie apparenze provengono dalla persistenza dell'impressione delle immagini sulla retina ancora dopo che l'oggetto da cui fu prodotta è scomparso o si è spostato. La durata di questa persistenza varia colla sensibilità della retina e coll'intensità della luce. Plateu, di Brusselles, ha trovato con differenti metodi che essa è, in media, di un mezzo secondo.

L'impressione dei colori dura quanto quella della forma degli oggetti, giacchè se si fanno ruotare dei cerchi divisi in settori diversamente colorati, i colori si confondono e danno la sensazione del colore che risulterebbe dalla loro mescolanza. Il turchino ed il giallo producono il verde; il giallo ed il rosso, il rancisto; il turchino ed il rosso, il violetto; i sette colori dello spettro, il bianco, come lo dimostra il disco di Newton (463, 5.º).

Esistono molti apparati curiosi i cui effetti si spiegano colla persistenza della impressione sulla retina. Tali sono il *taumatropio*, il *fenachistiscopio*, la *ruota di Faraday*, il *caleidofono*.

507. Immagini accidentali. — Se si guarda attentamente per un certo tempo un oggetto colorato posto sopra un fondo nero, la vista è ben tosto stancata e l'intensità dei colori s'indebolisce; dirigendo allora gli occhi sopra un cartone bianco o sopra una parete parimenti bianca, si scorge un'immagine della stessa forma dell'oggetto ma di un colore complementario (465), cioè che riunito con quello dell'oggetto formerebbe del bianco. Per un oggetto verde l'immagine è rossa, e reciprocamente; se l'oggetto è giallo, l'immagine è violetta. Queste apparenze colorate furono osservate da Buffon, che ha dato loro il nome di *immagini accidentali* o *colori accidentali*.

I colori accidentali durano tanto più quanto più illuminato era l'oggetto e quanto più a lungo lo si è guardato. Essi non si estinguono, in generale, in modo progressivo continuo, ma ordinariamente spariscono e riappariscono alternativamente. Si osserva altresì che se dopo aver contemplato un oggetto colorato, si chiudono rapidamente gli occhi e si difendono con tutta cura da ogni luce col mezzo di una stoffa compatta, le immagini accidentali non cessano di apparire.

Molte teorie furono proposte per ispiegare i fenomeni dei colori accidentali. Darwin ha ammesso:

1.º Che la parte della retina affaticata da un colore diventi insensibile ai raggi di questo colore, e non sia più impressionata che dal suo colore complementario;

2.º Che questa parte della retina prende *sponteneamente* un modo d'azione *opposto*, il quale cagiona la sensazione del colore complementario.

La prima parte di questa teoria non ispiega il fatto qui esposto che i colori accidentali appajono anche nell'oscurità, e la seconda parte non è che l'enunciato medesimo del fenomeno delle immagini accidentali.

508. Irradiazione. — L'*irradiazione* è un fenomeno pel quale gli oggetti bianchi o di un colore molto vivo, allorquando sono visti sopra un fondo oscuro, sembrano ingranditi. Il contrario accade di un corpo nero veduto

sopra un fondo bianco. Si ammette che l'irradiazione avvenga perchè l'impressione sulla retina si estende più o meno al di là del contorno dell'immagine. L'irradiazione aumenta notabilmente la grandezza apparente degli astri, i quali possono per essa sembrarci di parecchie volte più grandi nel loro diametro apparente.

Giusta le ricerche di Plateau, l'irradiazione varia assai da una persona all'altra, ed anche, per una medesima persona, da un giorno all'altro. Questo scienziato constatò inoltre che l'irradiazione cresce colla lucentezza dell'oggetto e colla durata della contemplazione. Finalmente, essa si manifesta a tutte le distanze ed è accresciuta dalle lenti divergenti, diminuita dalle convergenti.

509. Aureole accidentali, contrasto dei colori. — Le *aureole accidentali* sono colori che in luogo di succedere all'impressione d'un oggetto, come i colori accidentali, appajono attorno all'oggetto medesimo allorquando lo si guarda attentamente. L'impressione dell'aureola è opposta a quella dell'oggetto, vale a dire che se questo si disegna in chiaro, l'aureola è oscura; essa è chiara, se l'oggetto è oscuro.

Il *contrasto dei colori* è una reazione reciproca, che si esercita tra due colori vicini, reazione in virtù della quale a ciascuno di essi si unisce il colore complementario dell'altro. Questo contrasto fu osservato da Chevreul, che ne fece uno studio profondo e ne ha scoperta la legge. L'influenza reciproca delle aureole accidentali spiega il contrasto dei colori.

Chevreul ha trovato che quando sono posti l'uno accanto all'altro i colori rosso e ranciato, il rosso tende al violetto ed il ranciato al giallo. Se si esperimenta sul rosso ed il turchino, il primo colore volge al giallo ed il secondo al verde; col giallo ed il turchino, il giallo passa al ranciato ed il turchino all'indaco, e così di seguito per un gran numero di combinazioni. Si comprende quanto importi il sapere apprezzare l'effetto dovuto ai contrasti dei colori nella fabbricazione delle stoffe, dei tappeti, ecc.

510. L'occhio non è acromatico. — Si è attribuito per molto tempo all'occhio umano un acromatismo perfetto (470); ma questa opinione non può essere ammessa in modo assoluto dopo le diverse esperienze di Wollaston, di Young, di Fraünhofer e di Muller.

Fraünhofer ha osservato che un filo assai sottile collocato entro un cannocchiale a due vetri, al fuoco dell'objettivo, si vede distintamente attraverso all'oculare, allorchè il cannocchiale è illuminato unicamente colla luce rossa, e che non è più visibile se si rischiara il cannocchiale colla luce violetta, restando l'oculare nella medesima posizione. Ora, si osserva che, per vedere di nuovo il filo, bisogna diminuire la distanza delle lenti molto più di quello che indica il grado di rifrangibilità della luce violetta. Bisogna adunque ammettere che in questa esperienza vi è un effetto dovuto all'aberrazione di rifrangibilità dell'occhio.

Muller poi, contemplando con un solo occhio un disco bianco collocato sopra un fondo nero, ha trovato che l'immagine è pura quando l'occhio è adattato alla distanza del disco, cioè quando l'immagine si forma sulla re-

tina; ma se l'occhio non è adattato a questa distanza, cioè se l'immagine si forma più in avanti o più in addietro della retina, il disco sembra circondato d'una lista turchina molto stretta.

Muller conchiuse dalle sue esperienze che l'occhio è acromatico quando l'immagine è ricevuta alla distanza focale, o quando si adatti alla distanza dell'oggetto. Finora non si potè assegnare precisamente la causa di questo acromatismo apparente dell'occhio, ma lo si attribuisce generalmente alla tenuità dei fasci luminosi, che passano per l'apertura pupillare, ed alla circostanza che i raggi inegualmente rifrargibili incontrano la superficie dei mezzi dell'occhio sotto incidenze quasi normali, epperò sono poco rifratti, d'onde risulta che la dispersione è insensibile (469).

Quanto all'aberrazione di sfericità, si è già veduto (493) come essa sia corretta dall'iride, vero diaframma il quale trattiene i raggi che tendono a traversare il lembo del cristallino e lascia passare soltanto i più vicini all'asse.

511. Miopia e presbitismo. — Le affezioni le più conosciute dell'organo della vista sono la miopia e il presbitismo. La miopia consiste nell'adattamento abituale degli occhi ad una distanza minore di quella della visione distinta ordinaria, in modo che le persone miopi vedono distintamente soltanto gli oggetti assai vicini. La causa ordinaria della miopia è una soverchia convessità della cornea o del cristallino; in tal caso, rendendo l'occhio troppo convergenti i raggi, il fuoco, in luogo di formarsi sulla retina, si forma davanti ad essa e perciò l'immagine riesce confusa. Si rimedia a questo difetto dell'occhio col mezzo di lenti divergenti, le quali, allontanando i raggi dal loro asse comune, fanno retrocedere il fuoco e lo portano sulla retina.

La contemplazione abituale di piccoli oggetti, le osservazioni microscopiche possono produrre la miopia. Questo vizio di conformazione è comune nei giovani e diminuisce coll'età.

Il *presbitismo* è il difetto contrario della miopia. In questa affezione l'occhio vede molto bene gli oggetti lontani, ma non distingue chiaramente quelli che sono vicini. Il presbitismo proviene dalla poca convergenza che l'occhio dà ai raggi, per cui l'immagine degli oggetti vicini si forma al di là della retina; ma se gli oggetti si allontanano, l'immagine s'avvicina alla retina (451), e, quando sono ad una distanza conveniente, essa si forma esattamente sopra questa membrana: allora la visione è distinta.

Il presbitismo si corregge per mezzo di occhiali a lenti convergenti. Siccome queste lenti ravvicinano i raggi prima del loro ingresso nell'occhio, ne risulta che, scegliendole di opportuna convergenza, la posizione dell'immagine può col loro sussidio ricondursi precisamente sulla retina.

Pochi anni fa si faceva ancora uso unicamente di vetri bi-convessi pei presbiti, e di bi-concavi per i miopi. Wollaston propose, pel primo, di surrogare a queste due specie di vetri delle lenti concavo-convesse C ed F (fig. 303). Con questi vetri, le cui curvature sono disposte come quelle dell'occhio, si possono distinguere più chiaramente gli oggetti collocati obliquamente, per il che furono chiamati *vetri periscopici*.

512. Occhiali. — I vetri di cui fanno uso i miopi ed i presbiti vengono indicati col nome generico di *occhiali*. Sopra questi vetri si incidono ordinariamente dei numeri che danno, in pollici, la loro distanza focale principale.

Si può calcolare il numero conveniente per un presbite o per un miope quando si conosca la distanza alla quale egli veda distintamente. Pei presbiti si fa uso della formola $f = \frac{pd}{d-p}$ (1), dove f è il numero del vetro che si deve adottare, p la distanza della ordinaria visione distinta, la quale è di 30 centimetri od 11 pollici, e d la distanza della visione distinta della persona affetta da presbitismo. La formola (1) precedente si deduce dalla equazione $\frac{1}{p} - \frac{d}{p'} = \frac{1}{f}$ (459), sostituendovi d a p'. Si adopera qui la formola (6) del paragrafo 459, e non la formola (5) dello stesso paragrafo, perchè siccome l'immagine è virtuale, cioè trovasi dalla stessa parte dell'oggetto rispetto alla lente, il segno di p' deve essere contrario a quello di p, secondo ciò che si è detto nel citato paragrafo.

Pei miopi si calcola f colla formola delle lenti divergenti (459)

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f}, \text{ la quale dà } f = \frac{pd}{p-d} \ (2).$$

Sia proposto, per esempio, di calcolare il numero che conviene per un presbite, pel quale la distanza della visione distinta è di 35 pollici. Ponendo $p = 11$ e $d = 35$ nella formola precedente (1) si trova

$$f = \frac{35 \times 11}{35 - 11} = 16.$$

La misura poi della distanza della visione distinta si ottiene con sufficiente precisione per mezzo di un piccolo apparato che chiamasi *ottometro*.

513. Diplopia. — La *diplopia* è una affezione dell'occhio per la quale vedonsi gli oggetti doppii, cioè si vedono due oggetti in luogo di uno. In generale le due immagini si sovrappongono quasi intieramente ed una di esse è molto più appariscente dell'altra. La diplopia può provenire dall'ineguaglianza dei due occhi, ma può anche manifestarsi in un occhio solo. In quest'ultimo caso essa proviene senza dubbio da qualche difetto di conformazione del cristallino o di altre parti dell'occhio, pel quale il fascio luminoso si bipartisce e forma sulla retina due immagini invece di una sola. Può anche accadere che un occhio sia affetto di *triplopia*; ma in questo caso la terza immagine è debolissima.

514. Acromatopsia. — Chiamasi *acromatopsia* una affezione singolare che ci rende incapaci di giudicare i colori, od almeno certi colori. Infatti, alcuni individui hanno, a questo riguardo, una totale insensibilità, mentre altri distinguono alcuni colori. Le persone affette da questo vizio distinguono assai bene i contorni dei corpi, le parti illuminate o in ombra, ma non distinguono i colori.

D'Hombres-Firmas racconta di una persona affetta d'acromatopsia, che aveva dipinto nel proprio appartamento, al di sopra di una porta, un paesaggio in cui il terreno, gli alberi, le case e le persone erano turchine. Interrogata perchè non aveva dato a ciascun oggetto il colore conveniente, essa rispose che aveva voluto dare al suo disegno un colore simile a quello della sua tappezzeria; e questa era rossa.

Si applica all'acromatopsia anche il nome di *daltonismo* perchè il fisico Dalton, che l'ha descritto con cura, ne era egli stesso affetto.

CAPITOLO VII.

SORGENTI DI LUCE, FOSFORESCENZA.

515. Diverse sorgenti di luce. — Le sorgenti di luce sono il sole, le stelle, il calorico, le combinazioni chimiche, la fosforescenza, l'elettricità ed i fenomeni meteorici. Noi tratteremo di queste due ultime sorgenti di luce negli articoli *elettricità* a *meteorologia*.

L'origine della luce emessa dal sole e dalle stelle ci è sconosciuta; si ammette però che la sostanza infiammata di cui sembra cinto il sole sia gasosa, perchè la luce di questo astro, come quella emessa dalle sostanze gasose infiammate, non dà alcuna traccia di polarizzazione nel cannocchiali polariscopici (534).

Rispetto alla luce sviluppata dal calorico, Pouillet riconobbe che i corpi cominciano a diventare luminosi, nell'oscurità, ad una temperatura di 500 a 600 gradi, e che oltre questo limite la luce è tanto più viva quanto più elevata è la loro temperatura.

Molte combinazioni chimiche danno origine ad uno svolgimento di luce a motivo della elevazione di temperatura da cui sono accompagnate. Tale è la causa delle luci artificiali usate per l'illuminazione, perchè, come si è già veduto, le fiamme non sono altro che sostanze aeriformi scaldate al segno di diventare luminose (393).

Siccome i corpi diventano luminosi ad alta temperatura, sembra che in tal caso il calorico si trasformi in luce, d'onde risulterebbe che questi due agenti debbano essere riferiti ad una sola ed identica causa, principalmente se si osserva che, in generale, i raggi luminosi sono accompagnati da raggi calorifici. Però si conoscono parecchie sostanze le quali possono essere luminose nella oscurità senza svolgere calore, o svolgendone una quantità che non è apprezzabile nemmeno coi più squisiti strumenti termometrici Questa proprietà, di cui ci accingiamo a parlare, viene detta *fosforescenza*.

516. Fosforescenza; sue sorgenti. — La *fosforescenza* è una proprietà che possiedono molte sostanze di emettere luce quando si trovino in certe condizioni.

Cinque modi di fosforescenza vengono distinti da Ed. Becquerel, che fece accurati studii su questo fenomeno e giunse a risultati assai importanti.

1.° La *fosforescenza spontanea* in alcuni vegetali ed in alcuni animali. Assai viva è, per esempio, nella fulgora (porta-lanterna) e nelle lampiridi (lucciole); e lo splendore della luce di questi animali subisce variazioni dipendenti dalla loro volontà. Parimenti nelle regioni tropicali il mare è spesso coperto di una viva luce fosforescente dovuta a zoofiti di estrema piccolezza. Questi animaletti diffondono una sostanza luminosa tanto sottile che Quoy e Gaimard, in un viaggio sotto l'equatore, avendone collocati due in un fiasco pieno d'acqua, il liquido divenne immediatamente luminoso in tutta la sua massa.

2.° La *fosforescenza per elevazione di temperatura*, la quale si manifesta specialmente in alcuni diamanti e in certe varietà di spato fluore, che, scaldato a 300 o 400 gradi, diventa ad un tratto luminoso e diffonde una luce turchina assai viva.

3.° La *fosforescenza per effetti meccanici*, come l'attrito, la pressione, il clivaggio, ecc. A questo modo di fosforescenza appartiene quello che si osserva strofinando nella oscurità l'uno coll'altro due cristalli di quarzo o frangendo un pezzo di zuccaro.

4.° La *fosforescenza per elettricità*, come, ad esempio, quella che risulta dallo strofinío del mercurio contro il vetro entro la canna barometrica, ovvero quella delle scintille elettriche prodotte sia da una macchina elettrica ordinaria, sia da un rocchetto di Ruhmkorff, che si descriverà parlando della induzione.

5.° Finalmente, la *fosforescenza per insolazione* cioè per l'azione della luce solare o della luce diffusa dell'atmosfera. Molte sostanze, dopo essere state così esposte all'azione della luce, danno nell'oscurità una viva luce di cui il colore e l'intensità dipendono dalla natura e dallo stato fisico di esse sostanze. Su questo modo di fosforescenza ci tratterremo specialmente riassumendo i lavori del signor Ed. Becquerel.

517. Fosforescenza per insolazione. — Questo modo di fosforescenza fu osservato dapprima, nel 1604, nel *fosforo di Bologna* (solfuro di bario); ma Ed. Becquerel ha trovato questa stessa proprietà in molte altre sostanze. In massimo grado la possedono i solfuri di calcio, di bario e di stronzio, sostanze che quando siano bene preparate possono, dopo l'insolazione, splendere nell'oscurità per parecchie ore. E siccome questa luce si manifesta nel vuoto come entro i gas, si deve attribuirla non ad azione chimica, ma piuttosto ad una modificazione temporanea cagionata dalla influenza della luce.

Dopo i nominati solfuri vengono, nel grado di fosforescenza, molti diamanti, (principalmente i gialli) e il maggior numero delle varietà di spato fluore; indi l'aragonite, le concrezioni calcari, la creta; il fosfato, l'arseniato, il solfato di calce; l'azotato di calce e il cloruro di calcio secchi; il cianuro di calcio; molti sali a base di stronziana o di barite; la magnesia, il carbonato di magnesia, ecc, ecc.; finalmente, anche molte sostanze

organiche acquistano pur esse la fosforescenza per insolazione; tra queste la carta asciutta, la seta, lo zuccaro di canna, lo zuccaro di latte, il succino, i denti, ecc.

Fu riconosciuto da Ed. Becquerel che sopra ciascuna sostanza è differente l'azione dei varii raggi dello spettro. L'azione massima è dei raggi violetti od anche ultravioletti, ed in generale il colore emesso dal corpo fosforescente corrisponde a raggi meno rifrangibili di quelli della luce a cui fu esposto.

Le tinte che pigliano i varii corpi fosforescenti sono svariatissime e dipendono sì dalla sensibilità della sostanza come dalla temperatura. La durata della fosforescenza è tanto minore quanto più elevata è la temperatura. Alla temperatura ordinaria la fosforescenza dei solfuri di calcio e di stronzio dura sino a trent' ore: con altre sostanze non dura che minuti, o secondi o frazioni di secondo.

518. **Fosforoscopio.** — Quando si vuole esperimentare sopra corpi, la cui fosforescenza dura alcuni minuti od anche solo alcuni secondi, basta esporli alla luce solare ovvero alla luce diffusa, per brevissimo tempo, indi collocarli in luogo oscuro, perchè la loro lucentezza si manifesti, principalmente se lo sperimentatore avrà avuto cura di tenere per qualche tempo gli occhi chiusi prima di guardarli. Ma per quei corpi la cui fosforescenza dura soltanto per tempi brevissimi, questo processo è insufficiente. Per tale caso Ed. Becquerel immaginò un ingegnoso apparato a cui diede il nome di *fosforoscopio*, per mezzo del quale si possono osservare i corpi subito dopo la loro esposizione alla luce, e si può misurare con grande precisione e rendere piccolo quanto si vuole l'intervallo di tempo tra l'insolazione e la osservazione.

Questo apparato, costrutto da Duboscq, è composto di una cassa cilindrica AB (fig. 372) di lamiera annerita, che ha due sole aperture praticate nelle basi e in figura di settori circolari. Di queste aperture una sola è rappresentata nella figura. La cassa è fissa, ma lungo l'asse è attraversata da un perno mobile al quale sono uniti due schermi circolari MM e PP di lamiera annerita (fig. 373), ciascuno dei quali ha quattro aperture configurate come quelle che si trovano nelle basi della cassa; se non che, mentre queste ultime si corrispondono l'una all'altra, quelle degli schermi si alternano in modo che le parti piene dell' uno corrispondono sempre alle aperture dell' altro. Finalmente, i due schermi sono chiusi nella cassa, e il loro perno termina in un rocchetto esterno alla medesima; riceve questo rocchetto moto per mezzo di una manovella e di un sistema di ruote dentate destinati ad imprimergli una grande velocità.

Per istudiare col fosforoscopio la fosforescenza di una sostanza qualunque, se ne colloca un pezzetto *a* sopra una staffa frapposta ai due schermi giranti. Dalla disposizione di questi schermi risulta che la luce non può mai passare contemporaneamente per le aperture opposte delle pareti A e B della cassa, perchè tra esse trovasi sempre una parte piena di alcuno degli schermi MM o PP. Per conseguenza, allorchè la luce che viene sulla

faccia posteriore dell'apparato illumina il corpo a, questo non è visibile all' osservatore che guarda per l' apertura o, perchè allora esso è nascosto da una delle parti piene dello schermo PP. E reciprocamente, ogni qualvolta l'osservatore vede il corpo a, questo non è illuminato, essendo la luce intercetta dallo schermo MM. Si avrà dunque alternativamente una appari-

Fig. 373.

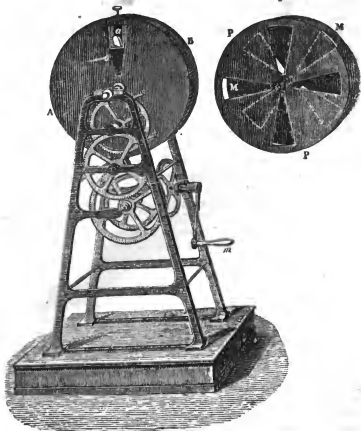



Fig. 372.

zione ed una occultazione del corpo a: occultazione quando esso è illuminato, apparizione quando l' illuminazione è cessata. Il tempo che decorre dalla occultazione alla apparizione dipende dalla velocità di rotazione degli schermi. Suppongasi, per esempio, che questa sia di 150 giri per secondo, cioè di un giro per 1/150 di secondo: in questo tempo vi saranno quattro apparizioni e quattro occultazioni, e perciò l'intervallo tra l'istante in cui la luce agisce e quello in cui si osserva il corpo sarà 1/8 di 1/150 di secondo, cioè circa 0,0008 di secondo.

Esposti questi particolari, resta a dire come si esperimenti col fosforoscopio. Lo sperimentatore si chiude in una camera oscura e, ponendosi dietro l'apparato dalla banda delle ruote dentate, lascia venire dall'altro lato sulla sostanza *a* un fascio di luce solare o elettrica. Allora, imprimendo agli schermi una rotazione più o meno rapida, il corpo *a* apparisce luminoso per fosforescenza e continuatamente tostochè l'intervallo tra l'insolazione e l'osservazione sia reso minore della durata della fosforescenza del corpo. Sperimentando in questo modo, Ed. Becquerel trovò che molte sostanze, le quali non diventano luminose col processo ordinario, nel fosforoscopio lo diventano. Così avviene, per esempio, dello spato d'Islanda. Le sostanze che in questo apparato presentano la più viva luce sono i composti di uranio, i quali cominciano a diffondere una luce verde assai vivace quando l'osservatore può vederle 3 o 4 millesimi di secondo dopo la insolazione. Ma molte sostanze, come il quarzo, il solfo, il fosforo, i metalli, i liquidi, non presentano alcun effetto di fosforescenza anche osservate con questo istromento.

CAPITOLO VIII.

DOPPIA RIFRAZIONE, INTERFERENZE, POLARIZZAZIONE.

519. Doppia rifrazione. — Abbiamo già detto (436) che la *doppia rifrazione o birifrazione* è la proprietà che posseggono molti cristalli di dare origine a due raggi rifratti per un solo raggio incidente, per cui, guardando un oggetto attraverso a questi cristalli, lo si vede doppio. La doppia rifrazione era già stata osservata da Bartholin nel 1647, ma Huyghens ne diede, pel primo, nel 1673, una teoria compiuta.

I cristalli dotati della doppia rifrazione diconsi *birifrangenti*. Questa proprietà si osserva soltanto nei cristalli che non appartengono al sistema cubico. I corpi cristallizzati in questo sistema, ed i non cristallizzati, come il vetro, non posseduno la doppia rifrazione, ma possono acquistarla accidentalmente quando siano inegualmente compressi, o per mezzo della *tempera*, cioè del raffreddamento rapido in seguito al riscaldamento. I liquidi ed i gas non sono mai birifrangenti. Il fenomeno della doppia rifrazione è sensibile specialmente nello spato d'Islanda o calce carbonata dei mineralogisti.

Fresnel spiegò la doppia rifrazione ammettendo una ineguale densità dell'etere nei cristalli birifrangenti, dalla quale deriva una maggiore velocità di moto vibratorio in una certa direzione determinata dallo stato molecolare del cristallo. Questa ipotesi ha la sua conferma nella proprietà che acquista il vetro di diventare birifrangente per mezzo della tempera e della compressione (547).

520. Cristalli ad un asse. — In un cristallo dotato della doppia rifrazione trovansi sempre una o due direzioni secondo le quali osser-

vasi solo la rifrazione semplice, cioè secondo le quali si vede una sola immagine degli oggetti. Queste direzioni si chiamano *assi ottici*, ovvero *assi di doppia rifrazione*. Però quest' ultima denominazione è impropria, perchè appunto in queste direzioni non avviene la doppia rifrazione.

Si chiamano cristalli ad un asse quelli che presentano una sola direzione nella quale la luce non si bipartisce, e cristalli a due assi quelli che ne presentano due.

I cristalli ad un asse, che si adoperano più spesso negli strumenti d'ottica, sono lo spato d'Islanda, il quarzo e la tormalina. Lo spato d'Islanda ha la forma di un romboedro le cui facce sono inclinate di 105° 5' (fig. 374). Le sei facce sono rombi, che si uniscono a tre a tre coi loro angoli ottusi agli estremi di una retta *ab*, che è *l'asse di cristallizzazione*.

Brewster ha constatata questa legge generale nei cristalli ad un asse, che l'asse di doppia rifrazione coincide sempre coll'asse di cristallizzazione.

Chiamasi *sezione principale* di un cristallo ad un asse il piano che passa per l'asse ottico ed è perpendicolare ad una faccia naturale od artificiale del cristallo.

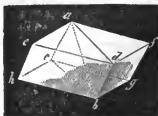



Fig. 374.

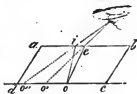



Fig. 375.

521 Raggio ordinario e raggio straordinario. — Dei due raggi rifratti, a cui danno origine i cristalli ad un'asse, l'uno segue sempre le leggi della rifrazione (437), ma l'altro non è soggetto a queste leggi; cioè il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione non è costante, ed il piano di rifrazione non coincide col piano d'incidenza. Il primo di questi raggi è denominato il *raggio ordinario*, e l'altro il *raggio straordinario* Le immagini che loro corrispondono si denotano esse pure coi nomi di *immagine ordinaria* ed *immagine straordinaria*.

Il raggio ordinario e lo straordinario hanno indici differenti; in alcuni cristalli è maggiore l'indice del raggio ordinario, in altri quello dello straordinario. Fresnel diede ai primi il nome di *cristalli negativi*, ai secondi quello di *cristalli positivi* Lo spato di Islanda, la tormalina, lo zaffiro, il rubino, lo smerando, la mica, il prussiato di potassa, il solfato di calce sono negativi. Il quarzo, il giargone, il cristallo,

l'apofillite ad un asse solo sono positivi. La classe dei cristalli negativi è molto più numerosa che quella dei positivi.

La figura 575, ove il parallelogrammo *abcd* rappresenta una sezione principale di un romboedro di spato islandico, mostra l'andamento dei raggi in questo fenomeno. Posto il cristallo sopra un cartone bianco, si guarda attraverso al medesimo un punto nero *o* segnato sul cartone. Il raggio incidente partito dal punto *o* si divide in due raggi *oi* ed *oe*, i quali, rifrangendosi diversamente alla loro emergenza, presentano all'occhio due immagini *o'* ed *o''*.

Se si fa ruotare il romboedro, tenendolo sempre applicato sul cartone, una delle immagini, che è l'ordinaria, rimane fissa, ed intanto la straordinaria gira attorno alla prima, e ciò mostra che il piano del raggio rifratto viene spostato relativamente al piano d'incidenza, e quindi che il raggio straordinario non segue le leggi della rifrazione semplice.

522. Leggi della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse. — Il fenomeno della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse è sottoposto alle seguenti leggi:

1.ª *Il raggio ordinario, qualunque sia il suo piano d'incidenza, segue sempre le due leggi generali della rifrazione semplice* (437).

2.ª *In ogni sezione perpendicolare all'asse anche il raggio straordinario segue queste due leggi come il raggio ordinario, ma il suo indice di rifrazione è diverso da quello di quest'ultimo raggio; quindi distinguonsi l'indice ordinario e l'indice straordinario.*

3.ª *In ogni sezione principale il raggio straordinario segue soltanto la seconda legge della rifrazione, cioè i piani di incidenza e di rifrazione coincidono, ma il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione non è costante.*

4.ª *In un cristallo di questa sorta, il raggio ordinario e lo straordinario non si propagano con velocità eguali, ma la differenza dei quadrati di queste due velocità è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che fa coll'asse il raggio straordinario.*

Quest'ultima legge è la traduzione di una formola empirica data da Biot per collegare tra loro le velocità dei due raggi. Essa deriva anche dalle formole a cui fu condotto Fresnel da considerazioni puramente teoriche, le quali presentano l'interessante proprietà che da esse si può dedurre la formola di Biot.

Huyghens, che pel primo diede una teoria compiuta della doppia rifrazione fondata sul sistema delle ondulazioni, insegnò una costruzione geometrica assai importante, per mezzo della quale, dato il raggio incidente, si può costruire il raggio rifratto in tutte le sue posizioni rispetto all'asse: ma la teoria di Huyghens non fu adottata dai fisici, finchè Malus non ne constatò l'esattezza per mezzo di numerose esperienze.

523. Leggi della doppia rifrazione nei cristalli a due assi. — I cri-

stalli a due assi sono assai numerosi; tali sono i solfati di nichelio, di magnesia, di barite, di potassa, di ferro, lo zuccaro, la mica, il topazzo del Brasile. In questi diversi cristalli l'angolo dei due assi ha valori assai differenti, perchè varia da 3° sino a 90°.

Fresnel ha scoperto colla teoria ed ha dimostrato coll'esperienza che nei cristalli a due assi nessuno dei due raggi segue la legge della rifrazione semplice; ma chiamando *linea media* e *linea supplementare* le rette che dividono l'angolo dei due assi ed il suo supplemento in due parti eguali, ha trovato che *in ogni sezione perpendicolare alla linea media uno dei raggi rifratti segue le leggi della rifrazione ordinaria, ed in ogni sezione perpendicolare alla linea supplementare segue queste leggi l'altro dei due raggi.*

Quanto prima si vedranno, negli apparecchi di polarizzazione, numerose applicazioni della doppia rifrazione dello spato d'Islanda. Di questa proprietà è stata fatta un'applicazione anche nel cannocchiale micrometrico di Rochon, apparecchio che serve a misurare il diametro apparente dei corpi, e per mezzo del quale si può determinare la distanza di un oggetto quando se ne conosca la grandezza.

DIFFRAZIONE, INTERFERENZE ED ANELLI COLORATI.

524. Diffrazione e frange — La *diffrazione* è una modificazione che subisce la luce quando rade i lembi d'un corpo o quando attraversa una piccola apertura; per la quale modificazione i raggi sembrano piegarsi e penetrare nell'ombra. Per osservare il fenomeno della diffrazione, si fa entrare un fascio di luce solare attraverso un'apertura piccolissima praticata nell'imposta di una camera oscura e lo si

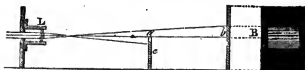



Fig. 376.

riceve sopra una lente di convergenza L a corto fuoco (fig. 376). Un vetro colorato in rosso è fissato alla apertura della camera oscura, e lascia passare soltanto una luce rossa. Un diaframma opaco e a margini sottili, collocato dietro alla lente al di là del suo fuoco, intercetta una metà del cono luminoso, mentre l'altra va a projettarsi sopra uno schermo *b* rappresentato di fronte in B. Ora, in tal caso, si osserva, al di dentro dell'ombra geometrica limitata dalla retta *ab*, una luce rossastra alquanto viva, la quale decresce d'intensità a misura che i punti del diaframma sono più lontani dal limite dell'ombra, e sulla

parte del diaframma che dovrebbe essere uniformemente illuminata si osservano delle alternative di frange oscure e di frange luminose, che s'indeboliscono gradatamente e ad una certa distanza spariscono affatto.

I diversi colori dello spettro producono tutti lo stesso fenomeno; ma le frange sono tanto più strette e meno distanti l'una dall'altra, quanto meno rifrangibile è la luce. Da quest'ultima proprietà risulta che quando si esperimenta con luce bianca, trovandosi le frange di ciascun colore semplice separate a motivo della loro ineguale dilatazione, quelle che si formano sullo schermo B sono iridescenti.

Se invece di interporre tra la lente L e il diaframma *b* i lembi di un corpo opaco, vi si colloca un corpo opaco assai stretto, come un capello od un filo metallico sottilissimo, non solo si osservano ancora delle frange alternativamente oscure e brillanti ai due lati della parte dello schermo che corrisponde all'ombra geometrica del corpo, ma anche entro quest'ombra si vede la stessa alternativa di liste oscure e luminose: cioè allora si producono delle frange esterne e delle interne.

Il fenomeno della diffrazione e delle frange venne fatto conoscere per la prima volta, nel 1665, dal P. Grimaldi di Bologna, il quale non ne diede però la spiegazione. Newton tentò di spiegare il fenomeno della diffrazione nel sistema dell'emissione, ammettendo un'azione ripulsiva esercitata dai corpi sui raggi luminosi, il che però non ispiegava le frange interne. Tommaso Young spiegò il fenomeno della diffrazione nel sistema delle ondulazioni, attribuendolo all'interferenza (525) dei raggi diretti coi raggi riflessi dai lembi dei corpi opachi. Ma da questa teoria risulterebbe che la formazione delle frange dovrebbe dipendere dalla natura dei corpi opachi di cui la luce lambisce i contorni e dal loro grado di levigatezza, il che è contrario all'osservazione. Fresnel spiegò, pel primo, tutti i fenomeni della diffrazione fondandosi sempre sulla teoria delle onde luminose.

525. Interferenza. — Chiamasi *interferenza* un'azione vicendevole che esercitano l'uno sull'altro due raggi luminosi quando, emessi da una stessa sorgente, s'incontrano sotto un angolo piccolissimo. Quest'azione può vedersi assai facilmente col mezzo della seguente esperienza. Per due aperture circolari piccolissime, di diametri uguali e poco distanti l'una dall'altra, si introducono in una camera oscura due fasci di luce omogenea, per esempio, di luce rossa, il che si ottiene fissando alla due aperture della camera oscura dei vetri colorati in rosso, i quali non lasciano passare che questa sorta di luce. I due fasci, i quali dopo il loro ingresso nella camera nera formano due coni luminosi che s'incontrano ad una certa distanza, si ricevono sopra un cartone bianco alquanto al di là del loro punto d'incontro, ed allora nel segmento comune ai due dischi, che si formano su questo cartone, si osservano delle frange le quali risultano da alternative di rosso e di nero. Ma se si chiude una delle due aperture, le frange spariscono e

vi subentra una tinta rossa quasi uniforme. Dalla scomparsa delle frange oscure, che avviene quando s'intercetta uno dei fasci, si conchiude ch'esse provengono dall'incontro dei due fasci i quali si incrociano obliquamente.

Quest'esperienza è dovuta a Grimaldi, il quale ne aveva dedotta la notabile conseguenza che la luce aggiunta a luce produce oscurità. Nell'esperienza or ora descritta avviene diffrazione, perchè i raggi luminosi radono i margini delle aperture; ma si può produrre l'interferenza di due raggi senza farvi intervenire quel fenomeno, per mezzo dell'apparato seguente dovuto a Fresnel.

Due specchi metallici piani, M ed N (fig. 377), sono disposti l'uno a fianco dell'altro in modo che formino un angolo MNO assai ottuso. Una lente semi-cilindrica L, a corto fuoco, concentra dinanzi a questi specchi un fascio di luce rossa introdotta nella camera oscura, il quale cade in parte sopra uno degli specchi, in parte sull'altro. Le onde luminose, dopo essersi riflesse, come mostra la figura, si incontrano sotto un angolo piccolissimo più presso allo specchio N che all'M, e,

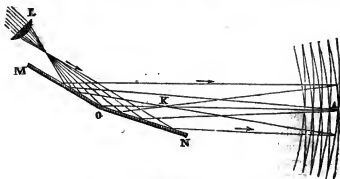



Fig. 377.

ricevendole allora sopra una superficie bianca, si osservano sopra quest'ultima delle liste alternative oscure e brillanti, parallele alla linea d'inserzione dei due specchi e disposte simmetricamente ai due lati del piano OKA. che passa per la linea d'intersezione degli specchi e divide in due parti eguali l'angolo che formano i due raggi riflessi.

Se si intercetta la luce incidente sopra uno degli specchi, le frange spariscono, come nell'esperimento precedente.

Finalmente, se il fascio già riflesso da uno degli specchi si fa paspassare a traverso di una lamina di vetro a facce parallele, tutte le frange sono spostate a diritta od a sinistra, di una quantità che cresce colla grossezza della lamina. Quest'ultima esperienza, dovuta ad Arago, mostra come l'azione vicendevole dei raggi che s'incontrano sia modificata dalla sostanza che attraversano, e se ne argomentò che la luce propagasi meno velocemente nel vetro che nell'aria.

526. Principio delle interferenze. — Il fenomeno delle interferenze, come quello della diffrazione, non si può spiegare nel sistema dell'emissione; ma Fresnel ne diede una spiegazione compiuta nel sistema delle ondulazioni. In questo sistema, sopponendosi le molecole dell'etere animate di un moto ondulatorio rapidissimo (405), si chiama *lunghezza di ondulazione* lo spazio percorso dal moto vibratorio durante un'andata ed un ritorno d'ogni molecola d'etere, e *semi-ondulazione* quello che corrisponde alla sola andata, ovvero al solo ritorno; di modo che un'ondulazione completa si compone di due semi-ondulazioni in versi contrarii. Ciò posto, quando due sistemi di ondulazioni di eguali lunghezze e della stessa intensità si propagano in una stessa direzione, se l'uno dei sistemi precede od è preceduto dall'altro esattamente d'un numero pari di semi-ondulazioni, i due sistemi cospirano per imprimere all'etere un movimento in un medesimo verso, e l'intensità della luce si raddoppia; ma se invece uno dei sistemi è in ritardo a confronto dell'altro di un numero dispari di semi-ondulazioni, i movimenti impressi all'etere si distruggono, e ne risulta dell'oscurità.

Così si spiegano le frange alternativamente oscure e brillanti osservate nell'esperienza degli specchi di Fresnel ed in quella di Grimaldi. Le frange osservate nella diffrazione si riferiscono alla stessa causa.

Siccome le due esperienze descritte superiormente (525) si erano fatte colla luce rossa, le frange si trovavano alternativamente nere e rosse; ma ripetendole con luce bianca, le frange sono iridescenti. Per ispiegare questa colorazione, bisogna notare che la larghezza delle frange è varia pei diversi colori semplici: epperò quando si fanno interferire due fasci di luce bianca, si separano le frange dovute a ciascun colore, d'onde la iridescenza che in tal caso si osserva. Si vede che questa spiegazione è la stessa già data pei colori nella diffrazione.

527. Lunghezza delle ondulazioni, causa dei colori. — Misurando accuratamente l'intervallo tra due frange consecutive ottenute nei fenomeni d'interferenza, Fresnel ne dedusse col calcolo la lunghezza delle ondulazioni dell'etere, e riconobbe che questa lunghezza non è eguale per tutti i raggi diversamente colorati, ma cresce dal violetto al rosso, come mostra la tabella seguente:

Colori semplici.	Lunghezza media delle onde in milionesimi di millimetro.
Violetto	423
Indaco	449
Turchino	475
Verde	512
Giallo	551
Ranciato	583
Rosso	620.

Siccome la velocità della luce in un secondo è di 77,000 leghe di 4000 metri ciascuna (411), cioè di 308 milioni di metri, così si otterrà il numero di vibrazioni corrispondente a ciascun colore in ogni minuto secondo, cercando quante volte la lunghezza di ondulazione corrispondente, espressa in metri, è contenuta nel numero 308 milioni, cioè dividendo quest'ultimo numero per la detta lunghezza dell'ondulazione. Trovasi per tal guisa che il numero di vibrazioni corrispondente al raggio violetto, per ogni minuto secondo, supera 728 milioni di milioni e pel rosso eccede i 496 milioni di milioni. Trovandosi così che ad ogni colore semplice corrisponde un numero particolare di vibrazioni, è manifesto che la teoria delle ondulazioni conduce ad ammettere che la differenza dei colori viene determinata dal numero delle vibrazioni delle molecole del corpo luminoso in un tempo dato, appunto come i varii suoni vengono determinati dal numero delle vibrazioni del corpo sonoro.

528. **Colori delle lamine sottili, anelli di Newton, fenomeno delle reticelle.** — Tutti i corpi diafani, solidi, liquidi o gasosi, quando sono ridotti in lamine di sufficiente sottigliezza, sembrano tinti di colori assai vivi, specialmente quando siano veduti per riflessione. I cristalli clivabili in foglie sottilissime, come la mica, il gesso, presentano questo fenomeno; altrettanto accade della madreperla e del vetro soffiato in bolle sottilissime. Una goccia d'olio, che siasi espansa rapidamente sopra una grande massa d'acqua, presenta tutte le tinte dello spettro in un ordine costante. Una bolla d'acqua saponata si vede bianca a principio, ma a misura che la si gonfia mostra delle brillanti tinte iridescenti, specialmente alla sua parte superiore ove l'inviluppo liquido che forma la bolla è più sottile. Questi colori sono disposti in zone orizzontali concentriche intorno al vertice, il quale diventa nero al momento in cui non ha più grossezza sufficiente per riflettere la luce, ed allora la bolla scoppia improvvisamente.

Newton, che pel primo studiò il fenomeno degli anelli colorati nelle bolle di acqua saponata, affine di constatare la relazione che passa tra la grossezza della lamina sottile, il colore degli anelli e i loro diametri, produsse questi anelli per mezzo di uno strato d'aria interposta a due vetri, l'uno piano, l'altro convesso ed a fuoco assai lungo (fig. 378). Se le due superficie furono accuratamente asciugate, quando si espongano, dinanzi ad una finestra, alla luce del giorno, in modo di vederle per riflessione, si scorge, al punto di contatto, una macchia nera cinta da sei o sette anelli colorati, le cui tinte s'indeboliscono gradatamente. Se si guardano i vetri per trasmissione, il centro degli anelli è bianco (fig. 379), ed i colori di ciascuno di essi sono esattamente complementarii di quelli degli anelli veduti per riflessione.

Adoperando una luce omogenea, per esempio la rossa, gli anelli sono successivamente rossi e neri, e di diametri tanto minori quanto più

rifrangibile ne è il colore; invece colla luce bianca gli anelli presentano i differenti colori dello spettro, perchè gli anelli dei varii colori semplici, avendo diametri differenti, non si sovrappongono ma si separano più o meno.

Fig. 378.

Fig. 379.

Se la distanza focale della lente è di 3 a 4 metri, gli anelli possono vedersi ad occhio nudo; ma se il fuoco è più vicino, bisogna guardare gli anelli con una lente.

Calcolando la grossezza dello strato d'aria compresa tra la lastra di vetro e la lente, Newton trovò che *per gli anelli oscuri queste grossezze stanno tra loro come le serie dei numeri pari* 0, 2, 4, 6.....; e che *per gli anelli brillanti le grossezze sono come la serie dei numeri dispari* 1, 3, 5, 7.....; ed inoltre che questi rapporti sono indipendenti dalla curvatura delle lenti e dal colore della luce trasmessa. Newton trovò inoltre che la grossezza dello strato d'aria diminuisce al crescere della rifrangibilità del colore, e che vale 161 milionesimi di millimetro pel rosso estremo di primo ordine, cioè del primo anello brillante, mentre è di soli 101 milionesimi di millimetro pel violetto pure di primo ordine. Finalmente, per anelli del medesimo ordine, i diametri sono tanto maggiori quanto meno rifrangibile è il colore semplice che cade sulla lente.

La colorazione delle lamine sottili e degli anelli di Newton è un fenomeno d'interferenza, che proviene cioè dall'interferenza dei raggi riflessi dalla seconda faccia della lamina con quelli riflessi dalla prima. Gli anelli poi veduti per rifrazione risultano dall'interferenza de' raggi trasmessi direttamente coi raggi trasmessi soltanto dopo due riflessioni interne sulle facce della lamina (419).

529. Fenomeni delle reticelle — Si chiama *reticella*, in ottica, una serie di righe opache e di righe trasparenti vicinissime le une alle altre. Tale sarebbe quella che risulta quando si tracciano col diamante sul vetro delle righe per formare i micrometri (476). In questo caso le righe formano la parte opaca della reticella. Se si guarda la luce trasmessa da una candela traverso una reticella di questa sorta, la quale contenga per esempio 100 righe per ogni millimetro, si vede una serie di piccoli spettri che hanno il rosso al di fuori, ed il violetto al di dentro. Altrettanto accade quando guardasi la fiamma d'una candela traverso le barbe d'una penna collocata vicino all'occhio. Questa colorazione è pur essa un fenomeno d'interferenza.

530. Polarizzazione per riflessione. — La *polarizzazione* è una modificazione particolare dei raggi luminosi per la quale, quando siano stati una volta riflessi o rifratti diventano inetti ad essere riflessi o rifratti di nuovo in certe direzioni. Per indicare questi nuovi fenomeni ottici fu adoperato il nome di polarizzazione, perchè nella teoria dell'emissione si ammette che le molecole luminose abbiano dei poli e degli assi i quali, per effetto della riflessione sotto un certo angolo, si volgano tutti in una direzione. La polarizzazione fu scoperta nel 1810 da Malus, fisico francese morto nel 1812.

La luce si polarizza per riflessione o per rifrazione. La luce riflessa sopra una lastra di vetro nero si polarizza quando la riflessione avviene sotto un angolo di 35° 25′ colla lastra. Ecco alcune delle proprietà che possiede il raggio così polarizzato:

1.ª Questo raggio non è riflesso quando cade sopra una seconda lamina di vetro sotto lo stesso angolo di 35° 25′ se il piano d'incidenza su questa seconda lamina è perpendicolare al piano d'incidenza sulla prima, ed invece si riflette più o meno sopra piani inclinati diversamente.

2.ª Il raggio che si trasmette attraverso ad un prisma birifrangente (534, 3.°) dà una sola immagine quando la sezione principale è parallela o perpendicolare al piano di riflessione, mentre in ogni altra posizione, relativamente a questo piano, dà due immagini più o meno intense.

3.ª Essa non può trasmettersi attraverso ad una piastra di tormalina (534, 2.°) il cui asse di cristallizzazione si trovi parallelo al piano d'incidenza, e si trasmette, per lo contrario, tanto più facilmente quanto più quest'asse s'accosta ad essere perpendicolare al piano d'incidenza.

Tutti i corpi possono, come il vetro nero, polarizzare la luce per riflessione, ma più o meno compiutamente e sotto angoli d'incidenza diversi. Il marmo, per esempio, polarizza totalmente la luce, mentre il diamante, il vetro ordinario, il vetro d'antimonio la polarizzano solo parzialmente. Fra tutti i corpi, quelli dotati della minore facoltà polarizzante sono i metalli.

531. Angolo e piano di polarizzazione. — Dicesi *angolo di polarizzazione* di una sostanza l'angolo che deve fare il raggio incidente con una superficie piana e levigata di questa sostanza affinchè il raggio riflesso sia polarizzato al massimo grado possibile. Per l'acqua questo angolo è di 37° 15′; pel vetro di 35° 25′; pel quarzo, di 32° 28′; pel diamante, di 22°, e per l'ossidiana, sorta di vetro nero naturale che polarizza assai bene la luce, è di 33° 30′.

Brewster insegnò relativamente all'angolo di polarizzazione la seguente legge assai notabile per la sua semplicità: *l'angolo di po-*

larizzazione è l'angolo d'incidenza pel quale il raggio riflesso è perpendicolare al raggio rifratto. Però questa legge non è applicabile alla luce riflessa dai cristalli birifrangenti.

Nella polarizzazione per riflessione si chiama *piano di polarizzazione* il piano di riflessione nel quale la luce trovasi polarizzata: questo piano è lo stesso piano d'incidenza, e quindi contiene l'angolo di polarizzazione. La luce riflessa una prima volta in questo piano non può riflettersi sotto l'angolo di polarizzazione in un piano perpendicolare al medesimo e non può essere trasmessa attraverso ad una tormalina, il cui asse sia parallelo allo stesso piano. Anche per ogni raggio polarizzato per rifrazione evvi un piano di polarizzazione, cioè un piano nel quale il raggio presenta i fenomeni ora accennati.

532. Polarizzazione per rifrazione semplice. — Quando un raggio di luce non polarizzata cade sopra una lastra di vetro a facce parallele, sotto l'angolo di polarizzazione, è riflesso soltanto parzialmente; la parte non riflessa attraversa la lastra rifrangendosi, e la luce trasmessa è polarizzata parzialmente in un piano perpendicolare al piano di riflessione, e per conseguenza al piano di polarizzazione della luce che è stata polarizzata per riflessione. Arago ha osservato inoltre che il fascio riflesso ed il fascio rifratto contengono una eguale quantità di luce polarizzata, e che la riunione di questi due fasci riproduce della luce naturale. Si può adunque riguardare la luce ordinaria come formata di due fasci eguali, polarizzati ad angolo retto.

Siccome una sola lastra di vetro non polarizza giammai perfettamente la luce, sovrapponendone parecchie le une alle altre, per le successive riflessioni e rifrazioni si produce meglio l'effetto. Varie lastre di vetro così riunite formano l'apparato che si chiama una *pila di lamine di vetro* e che si adopera spesso per ottenere un fascio di luce polarizzata.

533. Polarizzazione per doppia rifrazione. — La luce si polarizza per doppia rifrazione quando attraversa un cristallo di spato d'Islanda o di qualsiasi altra sostanza birifrangente; i due fasci, distinti alla loro emergenza, sono ambedue polarizzati intieramente ma in piani differenti, i quali sono esattamente o quasi esattamente perpendicolari fra loro. Per dimostrarlo, si guarda a traverso ad un romboedro di spato d'Islanda un punto nero segnato sopra un foglio di carta. Ad occhio nudo si distinguono due immagini di eguale chiarezza; ma interponendo una tormalina (534, 2.°) e facendola ruotare nel suo stesso piano, ciascuna delle due immagini sparisce e ricompare due volte in una rotazione della tormalina, onde si vede che i due raggi emergenti sono polarizzati in piani perpendicolari tra loro. L'immagine ordinaria scompare quando l'asse della tormalina è parallelo alla sezione principale della superficie di incidenza, e l'immagine straordinaria cessa d'essere visibile quando questo asse è perpendicolare a questa medesima sezione.

Se ne conchiude che il fascio ordinario è polarizzato nel piano della sezione principale, e lo straordinario in un piano perpendicolare a questa sezione.

534. Polariscopii od analizzatori. — Si chiamano *polariscopii od analizzatori* dei piccoli strumenti che servono a riconoscere quando la luce sia polarizzata, ed a determinare il suo piano di polarizzazione. Gli analizzatori i più usitati sono la lastra di vetro nero, la tormalina in lastra sottile, il prisma birifrangente, il prisma di Nicol e le pile di vetro più sopra (532) descritte.

1.° *Vetro nero*. — Vedremo, nell'apparecchio rappresentato dalla figura 583, che una lastra di vetro nero *m* serve a riconoscere se la luce è polarizzata, perchè questa lastra cessa di rifletterla sotto l'angolo di polarizzazione, quando il piano d'incidenza sia perpendicolare al piano di polarizzazione; la lastra di vetro *m* è adunque un polariscopio.

2.° *Tormalina*. — L'analizzatore più semplice è una lamina di tormalina bruna tagliata parallelamente al suo asse di cristallizzazione. Questo minerale, che è birifrangente, ha la proprietà di lasciar passare soltanto la luce naturale e la polarizzata in un piano perpendicolare al suo asse; ma si comporta come un corpo opaco relativamente alla luce polarizzata in un piano parallelo all'asse. Per servirsi di questo analizzatore lo si interpone tra l'occhio ed il fascio luminoso che vuolsi osservare, poi si fa girare lentamente la tormalina nel suo proprio piano; allora se il fascio presenta sempre la stessa intensità non contiene luce polarizzata, ma se l'intensità decresce e cresce successivamente il fascio contiene tanto più di luce polarizzata quanto maggiori sono le variazioni che presenta. Il piano di polarizzazione è determinato dal raggio visuale e dall'asse della tormalina nell'istante in cui il fascio ha l'intensità minima. In una tormalina tagliata parallelamente all'asse passa allora il raggio straordinario, e l'ordinario è compiutamente assorbito, almeno se la tormalina è sufficientemente colorata.

3.° *Prisma birifrangente*. — Si costruiscono collo spato d'Islanda dei prismi birifrangenti che servono di analizzatori in parecchi strumenti d'ottica, specialmente nell'apparato di Biot che si adopera per istudiare la polarizzazione circolare (fig. 586). Bisogna che questi prismi siano acromatizzati, perchè quando la luce che li attraversa non è semplice viene decomposta dalla rifrazione. Perciò si unisce al prisma di spato un altro prisma di vetro, di angolo tale che, rifrangendo la luce in verso contrario, distrugga quasi del tutto l'effetto della dispersione. Si ottiene il massimo allontanamento tra l'immagine ordinaria e la straordinaria tagliando il prisma in modo che i suoi spigoli siano paralleli o perpendicolari all'asse ottico del cristallo.

Fissato il prisma birifrangente all'estremità di un tubo d'ottone (fig. 580), si riconosce che un fascio luminoso, il quale si faccia pas-

sare a traverso a questo tubo, è compiutamente polarizzato, quando facendo girare il tubo sopra sè stesso si trovano, in una rivoluzione intiera, quattro posizioni perpendicolari fra loro in cui non si vede che una sola immagine. Sparisce l'immagine ordinaria quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, ed

Fig. 380.

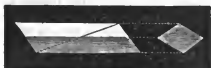



Fig. 381.

estinguesi la straordinaria quando il piano di polarizzazione coincide colla sezione principale. In tutte le altre posizioni che prende il prisma birifrangente varia l'intensità relativa delle immagini. Si vede inoltre che il prisma birifrangente può servire a determinare la direzione del piano di polarizzazione, poichè basta cercare la posizione della sezione principale del prisma per la quale, quando il fascio incidente è normale, sparisce l'immagine straordinaria.

4.º *Prisma di Nicol.* — Il prisma di Nicol è il più prezioso analizzatore perchè è affatto incoloro, polarizza perfettamente la luce e trasmette un solo raggio polarizzato nella direzione del suo asse.

Per costruirlo si prende un romboedro di spato d'Islanda dell'altezza di 20 a 30 millimetri e della larghezza di 8 a 9, e lo si taglia in due con un piano perpendicolare a quello delle due diagonali maggiori delle basi e passante pei vèrtici degli angoli ottusi i più vicini l'uno all'altro, poi si riuniscono le due metà nello stesso ordine con del

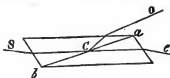



Fig. 382.

balsamo del Canadà. Il parallelepipedo così costrutto costituisce il prisma di Nicol (fig. 381).

Siccome l'indice di rifrazione del balsamo del Canadà è minore dell'indice ordinario dello spato dell'Islanda, ma maggiore del suo indice straordinario, ne segue che, quando un raggio luminoso SC (fig. 382) penetra nel prisma, il raggio ordinario subisce la riflessione totale sulla superficie *ab* e prende la direzione C*d*O mentre passa il solo raggio straordinario C*e*; epperò il prisma di Nicol, come la tormalina, non

lascia passare che il raggio straordinario. Esso può adunque servire di analizzatore come la lamina di tormalina sopra descritta. Si adopera anche questo prisma per ottenere un fascio di luce bianca polarizzata. A questo scopo serve pure il prisma birifrangente.

535. **Apparecchio di Noremberg.** — Noremberg immaginò un apparecchio semplice e poco costoso, per mezzo del quale si può ripetere la maggior parte delle esperienze relative alla luce polarizzata. Questo apparecchio è composto di due colonne *b* e *d* (fig. 383) di ottone, le quali sostengono una lastra di vetro *n* mobile attorno ad un asse orizzontale.

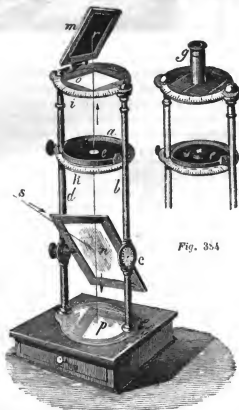



Fig. 384

Fig. 383.

zontale. Un piccolo cerchio graduato *c* indica l'angolo della lastra colla verticale. Tra i piedi delle due colonne trovasi uno specchio di vetro *p* fisso ed orizzontale. Alla loro estremità superiore queste stesse colonne sostengono un anello graduato *i*, nel quale può girare un disco circolare *o*, avente al suo centro un'apertura quadrangolare. A questo

cerchio è unita una lastra di vetro nero *m*, la quale fa colla verticale un angolo eguale a quello di polarizzazione. Finalmente, un disco, annulare *k* può essere fermato con una vite di pressione a differenti altezze sulle colonne. Un secondo anello *a*, sostenuto dal primo, può essere diversamente inclinato, e porta un diaframma nero *e* al cui centro trovasi un'apertura circolare.

Ciò posto, se il vetro *n* fa colla verticale un angolo di 35° 25', cioè eguale all'angolo di polarizzazione del vetro, i raggi luminosi analoghi ad S*n*, ehe incontrano la lastra sotto quest'angolo, si polarizzano (530) riflettendosi nella direzione *np* verso lo specchio *p* che li rimanda nella direzione *pnr*. Dopo avere attraversata la lastra *n*, il fascio polarizzato cade sulla lastra di vetro nero *m* sotto un angolo di 35° 25', perchè essa fa appunto quest'angolo colla verticale. Ora, facendo ruotare orizzontalmente l'anello *o*, a cui è fissata la lastra *m*, questa si muove conservando sempre la stessa inclinazione e si trovano due posizioni nelle quali essa non riflette il fascio incidente *nr*, il che accade allorquando il piano d'incidenza su questa lastra è perpendicolare al piano d'incidenza S*np* sulla lastra *n*. Tale è la posizione rappresentata nella figura 360. In ogni altra posizione il fascio polarizzato è riflesso dalla lastra *m* in quantità variabile, e la luce riflessa ha l'intensità massima allorquando i piani d'incidenza sulle lastre *m* ed *n* sono paralleli tra loro. Se la lastra *m* fa colla verticale un'angolo maggiore o minore di 35° 25', il fascio polarizzato è sempre riflesso in tutte le posizioni del piano d'incidenza.

Se in luogo di ricevere la luce polarizzata sulla lastra *m* la si fa cadere sopra un prisma birifrangente (534, 3.°) collocato in un tubo *g* (fig. 384), si ottiene una sola immagine ogni qualvolta il piano della sezione principale del prisma coincida col piano di polarizzazione sulla lastra *n*, ed allora è trasmesso il raggio ordinario. Vedesi ancora una immagine sola quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, ed allora passa il raggio straordinario. Per ogni altra posizione del prisma birifrangente si vedono due immagini, la cui intensità varia colla posizione della sezione principale.

Finalmente, se al prisma birifrangente si sostituisce una tormalina e la si fa girare sopra sè stessa, il fascio polarizzato si estingue compiutamente quando l'asse della tormalina è parallelo al piano d'incidenza S*np*.

Per tal modo adunque si trovano dimostrate le varie proprietà della luce polarizzata (530, 1.ª, 2.ª e 3.ª). Vedremo or ora altre applicazioni dell'apparecchio di Noremberg per l'osservazione dei colori della luce polarizzata e per lo studio della polarizzazione circolare nel quarzo.

536. Rotazione del piano di polarizzazione. — Un raggio polarizzato che abbia attraversato una lamina di quarzo tagliato perpendicolarmente all'asse di cristallizzazione è ancora polarizzato all'emergenza, ma in un piano diverso del piano di polarizzazione primitivo. Alcuni pezzi di quarzo deviano il nuovo piano a sinistra del primitivo, altri a destra. A questo fenomeno si diede il nome di *polarizzazione rotatoria* ovvero *circolare*. Esso venne osservato dapprima da Seebeck e da Arago, ma fu studiato spiecialmente da Biot, il quale scoprì le leggi seguenti:

1.ª *La rotazione del piano di polarizzazione non è la stessa per i differenti colori semplici, ma è tanto maggiore quanto più rifrangibili sono i raggi.*

2.ª *Per un medesimo colore semplice e per lamine di uno stesso cristallo la rotazione è proporzionale alla grossezza.*

3.ª *Nella rotazione da destra a sinistra o da sinistra a destra una eguale grossezza produce sensibilmente la stessa deviazione.*

Si denominarono *destrogire* le sostanze che deviano a destra, come lo zuccaro di canna sciolto nell'acqua, l'olio essenziale di limone, la soluzione alcoolica di canfora, la destrina e l'acido tartrico; e si chiamarono *levogire* le sostanze che deviano a sinistra, come l'olio essenziale di trementina, quello di lauro, la gomma arabica.

537. Colorazione prodotta dalla polarizzazione rotatoria. — Guardando con un prisma birifrangente una lamina di quarzo della grossezza di alcuni millimetri, tagliata perpendicolarmente all'asse ed attraversata da un fascio di luce polarizzata, si osservano due immagini vivamente colorate, le cui tinte sono complementarie l'una dall'altra, poichè sovrapponendosi verso il lembo le due immagini danno il bianco (fig. 385). Ruotando allora il prisma birifrangente a destra od a sinistra, le due immagini cangiano di colore e prendono successivamente tutte le tinte dello spettro, assumendo sempre l'una il colore complementario di quello dell'altra.

Fig. 385.

Questo fenomeno è una conseguenza della prima legge della polarizzazione circolare (536, 1.ª). Infatti, avendo Biot riconosciuto che il quarzo fa ruotare il piano di polarizzazione del raggio rosso di circa 17° 30′, e quello del raggio violetto di circa 44° 5′, dalla grande differenza di questi angoli ne segue che, quando la luce polarizzata emerge dalla piastra di quarzo sopra accennata, i diversi colori semplici ch'essa contiene sono polarizzati in piani differenti. Per conseguenza, quando il fascio così trasmesso dal quarzo è ricevuto a tra-

verso di un prisma birifrangente che lo decompone in due altri polarizzati ad angoli retti (533), i diversi colori semplici si ripartiscono inegualmente tra le due immagini ordinaria e straordinaria che fornisce il prisma, d'onde risulta che queste immagini sono necessariamente complementarie, perchè i colori che mancano all'una si trovano nell'altra.

Questi fenomeni di colorazione si osservano assai bene mediante l'apparato di Noremberg (fig. 383). Per ciò si colloca sul diaframma *e* (fig. 384) una piastra di quarzo *s* tagliata perpendicolarmente all'asse e fissata in un disco di sughero, poi inclinata la lastra *n* (fig. 383) in modo da far passare pel quarzo un fascio polarizzato, si guarda attraverso ad un prisma birifrangente contenuto nel tubo *g* (fig. 384), e, facendo girare il tubo, si vedono le immagini complementarie prodotte dalla luce polarizzata mentre passa pel quarzo (fig. 385).

538. Facolta' rotatoria dei liquidi. — Il quarzo è la sola sostanza solida nella quale siasi osservata la polarizzazione circolare; ma Biot ha trovata la stessa proprietà in un gran numero di liquidi e di soluzioni. Il medesimo scienziato osservò inoltre che lo spostamento del piano di polarizzazione può far conoscere delle differenze di composizione nei corpi dove non se ne distingue alcuna coll'analisi chimica. Per esempio, lo zuccaro d'uva fa ruotare a sinistra il piano di polarizzazione, mentre lo zuccaro di canna lo fa ruotare a destra, benchè la composizione chimica di queste due specie di zuccaro sia identica.

Biot ha trovato che la facoltà rotatoria dei liquidi è molto minore di quella del quarzo. Per esempio, nello sciroppo di zuccaro di canna concentrato, il quale è uno dei liquidi che possedono la facoltà rotatoria al massimo grado, questa è trentasei volte minore che nel quarzo, d'onde risulta che bisogna operare con colonne liquide di una lunghezza di circa 20 centimetri.

La figura 386 rappresenta l'apparecchio adottato da Biot per misurare la facoltà rotatoria dei liquidi. In un canale di ottone *g*, fissato ad un sostegno *r*, trovasi un tubo pure di ottone *d* lungo 20 centimetri, contenente il liquido su cui vuolsi sperimentare. Questo tubo è coperto internamente di stagno e chiuso ai capi da due lastre di vetro a facce parallele fisssate con due viere a vite. In *m* trovasi una lastra di vetro nero, la quale fa coll'asse comune dei tubi *b*, *d*, *a*, un angolo eguale a quello di polarizzazione, d'onde risulta che la luce riflessa dalla lastra *m* nella direzione *bda* è polarizzata. Entro il tubo *a* è collocato, in direzione perpendicolare all'asse *bda*, un prisma birifrangente acromatizzato, il cui asse passa pel centro del cerchio diviso *h* e che si può far girare ad arbitrio attorno all'asse dell'apparato per mezzo di un bottone *n*. Quest'ultimo è fissato ad una alidada *c* che porta un nonio ed indica il numero di gradi di cui lo si fa girare. Finalmente, lo specchio *m* è disposto in modo che il piano di

polarizzazione Sod del fascio riflesso sia verticale, e lo zero della graduazione sul cerchio *h* trovisi in questo piano.

Ciò posto, prima di collocare il tubo *d* nel canale *g*, l'immagine straordinaria prodotta dal prisma birifrangente si estingue ogni qualvolta l'alidada *c* corrisponde allo zero della graduazione, perchè allora il prisma birifrangente trovasi disposto in modo che la sua sezione principale coincide col piano di polarizzazione (534, 3.°). Altrettanto accade allorquando il tubo *d* è pieno d'acqua o di qualsiasi altro liquido *inattivo*, come l'alcoole o l'etere, il che dimostra che il piano di polarizzazione non è stato deviato. Ma empiendo il tubo con una soluzione di zuccaro di canna o di qualsiasi altro liquido *attivo*, l'immagine straordinaria ricompare, e per ispegnerla bisogna far ruotare l'alidada di un certo angolo a destra od a sinistra dello zero secondo che il liquido è destrogiro o levogiro, onde si scorge che il

Fig. 386.

piano di polarizzazione è stato deviato di questo stesso angolo a destra od a sinistra. Colla soluzione di zuccaro di canna la rotazione avviene verso la destra, e, se si adoperano tubi sempre più lunghi con una stessa soluzione, si trova che la rotazione cresce proporzionalmente alla lunghezza, in conformità alla seconda legge di Biot (536):

finalmente, se con un tubo di lunghezza costante si adoperano soluzioni sempre più ricche di zuccaro, si osserva che la rotazione cresce come la quantità di zuccaro sciolta, d'onde emerge che dall'angolo di deviazione si può desumere l'analisi quantitativa di una soluzione.

Nell'esperienza or ora descritta importa di operare colla luce semplice, poichè siccome i differenti colori dello spettro hanno facoltà rotatorie diverse, ne risulta che la luce bianca è decomposta nell'attraversare un liquido attivo, e che l'immagine straordinaria non isparisce compiutamente in veruna posizione del prisma birifrangente, ma cangia solo di tinta. Per ovviare a questo inconveniente si colloca

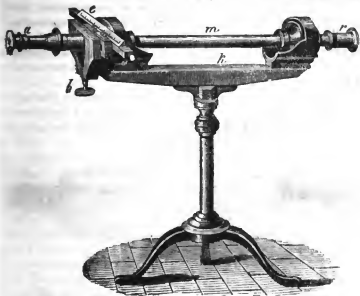



Fig. 387.

nel tubo *a*, tra l'occhio ed il prisma birifrangente, un vetro colorato in rosso coll'ossido di rame, il quale lascia passare sensibilmente i soli raggi rossi. Adunque l'immagine straordinaria sparisce ogni qualvolta la sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione del fascio rosso.

559. Saccarimetro di Soleil. — Soleil approfittò della proprietà rotatoria dei liquidi scoperta da Biot per costruire un apparecchio destinato ad analizzare le sostanze saccarifere; epperò questo apparecchio venne denominato *saccarimetro*.

La figura 387 rappresenta il saccarimetro fissato in direzione orizzontale sul suo piede, e la figura 388 ne offre una sezione longitudinale colle modificazioni recentissime che vi introdusse Duboscq, ge-

nero e successore di Soleil. Questo strumento di uso semplicissimo è però complicato sotto il punto di vista teorico, perchè richiede la cognizione dei principali fenomeni della doppia rifrazione e della polarizzazione.

Il principio su cui è fondato quest'apparecchio non è l'ampiezza di rotazione del piano di polarizzazione come in quello di Biot descritto più sopra (538), ma la *compensazione*, cioè l'uso di una seconda sostanza attiva, la quale opera in verso contrario di quella che trattasi di analizzare, e la cui grossezza può variare fino a che le azioni contrarie delle due sostanze si distruggano compiutamente; epperò in luogo di misurare la deviazione del piano di polarizzazione, si misura la grossezza che conviene dare alla sostanza compensatrice, la quale è una lastra di quarzo, per ottenere una compensazione perfetta.

Si possono distinguere in questo apparecchio tre parti principali: un tubo che contiene il liquido da analizzare, un polarizzatore ed un analizzatore.

Il tubo *m*, che contiene il liquido, è di ottone coperto internamente di stagno, chiuso alle sue estremità da due lastre di vetro a facce parallele; esso posa sopra un sostegno *k*, il quale a'suoi due capi è ter-

Fig. 388.

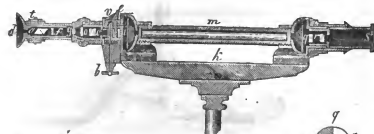



Fig. 389. *Fig* 390. *Fig.* 391.

minato da due tubi *a* ed *r*, in cui trovansi i cristalli che servono di polarizzatori e di analizzatori, rappresentati in sezione nella figura 388.

Davanti all'orifizio S (fig. 388) si colloca una lucerna meccanica ordinaria. La luce emessa da questa lucerna, nella direzione dell'asse dello strumento, incontra un prisma birifrangente *r* il quale serve di polarizzatore (534, 4.°). La sola immagine ordinaria giunge all'occhio, perchè la straordinaria trovasi fuori del campo della visione in causa dell'ampiezza dell'angolo compreso dai raggi ordinario e straordinario. Da ultimo, il prisma birifrangente ha una posizione tale che il piano di polorizzazione è verticale e passa per l'asse dell'apparato.

All'uscire dal prisma birifrangente, il fascio polarizzato incontra una piastra di quarzo *q* a doppia rotazione, cioè che può deviare il piano di polarizzazione a destra ed a sinistra. Per ciò essa è formata di due piastre di quarzo di rotazione contraria, poste l'una accanto all'altra come mostra la figura 368, in modo che linea di separazione sia verticale ed in uno stesso piano coll'asse dell'apparecchio. Questi quarzi tagliati perpendicolarmente all'asse hanno una grossezza di 3mil.,75 a cui corrisponde una rotazione di 90° ed una tinta roseo-violacea, che è la *tinta di passaggio*. Siccome il quarzo sì destrogiro che levogiro fa ruotare sempre di una stessa quantità a pari grossezza (556, 3.ª), ne segue che i due quarzi *a* e *b* deviano di quantità eguali il piano di polarizzazione, l'uno a destra l'altro a sinistra. Quindi, guardandoli con un prisma birifrangente, presentano esattamente la medesima tinta.

Il fascio polarizzato, dopo avere attraversati i quarzi *q*, passa nel liquido contenuto nel tubo *m*, indi incontra un'altra piastra di quarzo *i*, semplice e di grossezza arbitraria, di cui si vedrà ben presto l'ufficio.

In *n* trovasi il compensatore destinato a distruggere la rotazione della colonna liquida *m*. Esso è formato da due quarzi aventi la stessa rotazione a destra ovvero a sinistra, ma contraria a quella della piastra *i*. Questi due quarzi, rappresentati in sezione nella figura 389, si ottengono tagliando obliquamente una piastra di quarzo a facce parallele, in modo di formare due prismi N ed N' di angoli eguali: ponendo indi l'uno accanto all'altro questi due prismi, come mostra la figura, ne risulta una sola piastra a facce parallele, la quale ha il vantaggio di poter variare di grossezza. A questo effetto, ciascuno dei due prismi è fissato ad un pezzo mobile entro una scanalatura, in modo che possa scorrere in un verso o nell'altro, conservandosi sempre parallele le facce omologhe. Questo movimento si ottiene per mezzo di una doppia asta dentata e di un rocchetto che si fa girare con un bottone *b* (fig. 387 e 388).

Quando si spostano le lamine rispettivamente nel verso indicato dalle frecce (fig. 389), è evidente che la somma delle loro grossezze aumenta, e che diminuisce quando le lamine si muovono nel verso contrario. Una scala *e* ed un nonio *v* (fig. 387) seguono le piastre nel loro movimento, e servono a misurare le variazioni di grossezza del compensatore. Questa scala, rappresentata insieme col suo nonio nella figura 390, ha due divisioni con uno zero comune, l'una da sinistra a destra pei liquidi destrogiri, l'altra da destra a sinistra pei levogiri.

Quando il nonio è allo zero della scala, la somma delle grossezze delle piastre N ed N' è precisamente eguale a quella della piastra *i*, e siccome la rotazione di quest'ultima è contraria a quella del compensatore, l'effetto è nullo. Ma quando si fanno muovere in un verso

o nell'altro le piastre del compensatore, prevale quest'ultimo ovvero il quarzo *i*, ed avviene la rotazione a destra ovvero a sinistra.

Dietro al compensatore trovasi un prisma birifrangente *c* (fig. 588), il quale serve di analizzatore per osservare il fascio polarizzato che attraversò il liquido e le varie piastre di quarzo. Per intendere più facilmente l'ufficio del prisma *c*, ommetteremo di considerare, per un istante, i cristalli e le lenti rappresentate alla sua destra nella figura 588. Se dapprima si fa coincidere lo zero del nonio *v* con quello della scala, e se il liquido contenuto nel tubo è inattivo, le azioni del compensatore e della piastra *i* si distruggono, ed essendo nullo l'effetto del liquido, le due metà della piastra *q*, vedute attraverso al prisma *c*, danno esattamente la stessa tinta, come si è già notato precedentemente. Ma se al tubo pieno di liquido inattivo si sostituisce un secondo tubo pieno di una soluzione di zuccaro, la facoltà rotatoria di questa soluzione si aggiunge a quella diretta nello stesso verso di uno dei quarzi della piastra a doppia rotazione *q*, e diminuisce d'altrettanto la facoltà rotatoria dell'altro quarzo. Ne segue che le due metà della piastra *q* non presentano più la medesima tinta, e che la metà *a* (fig. 591) è, per esempio, rossa, mentre l'altra metà *b* è turchina. Allora si muovono i prismi del compensatore, ruotando il bottone *b* verso destra o verso sinistra, fino a che la differenza di azione del compensatore e della piastra *i* compensi la facoltà rotatoria della soluzione, il che avviene allorquando le due metà della piastra *q* a doppia rotazione tornano alla loro tinta primiva.

La direzione della deviazione e la grossezza del compensatore si misurano collo spostamento relativo della scala *c* e del nonio *v*. Le divisioni della scala sono tali che 10 di esse corrispondono ad una variazione di un millimetro nella grossezza del compensatore, e siccome il nonio dà i decimi di queste divisioni, ne risulta che con esso si misurano delle variazioni di 1/100 di millimetro nella grossezza del compensatore.

Quando le tinte delle due metà della piastra *q* sono identiche ed eguali a quelle che si avevano prima dell'interposizione della soluzione zuccherina, si legge sulla scala a quale divisione corrisponda il nonio, ed il numero corrispondente dà immediatamente il titolo della soluzione Per ciò si parte dal principio che se sciogliensi nell'acqua 16gr,471 di zuccaro candito, bene essiccato e purissimo, e si riduce il liquido al volume di 100 centimetri cubici, indi lo si osserva in un tubo lungo 20 centimetri, la deviazione prodotta è precisamente quella che conviene alla grossezza del quarzo di un millimetro. Ciò posto, per fare l'analisi di uno zuccaro impuro, si adotta sempre il peso normale di 16gr,471 di questo zuccaro, che si fa sciogliere nell'acqua, indi, ridotto il volume della soluzione a 100 centimetri cubici, se ne riempie un tubo lungo 20 centimetri, e si osserva

il numero indicato dal nonio quando si è ritrovata la tinta primitiva. Se questo numero è, per esempio, 42 se ne deduce che la soluzione contiene 42 per 100 di zuccaro cristalizzabile in confronto di quello che conteneva la soluzione di zuccaro candito, e perciò la quantità effettiva di questo zuccaro è $16^{gr},471 \times {}^{42}/_{100}$, ossia $6^{gr},918$. Ma questo risultato non puo ritenersi per esatto se non quando abbiasi la certezza che lo zuccaro assoggettato alla prova non sia mescolato a zuccaro non cristallizzabile o ad altra sostanza levogira. Perciò si ricorre alla *inversione*, cioè si trasforma, per mezzo dell' acido cloridrico, lo zuccaro cristallizzabile, che è destrogiro, in zuccaro incristallizzabile che è levogiro, poi si fa una nuova operazione, la quale, combinata colla prima, dà la quantità di zuccaro cristallizzabile. Non potendo qui dare maggiore sviluppo a questo proposito, rimandiamo il lettore ad un eccellente libretto pubblicato da Clerget nel 1850 sull'uso del saccarimetro.

Ci rimane a spiegare l'uso dei cristalli e delle lenti *o,g,f,a* collocati dietro al prisma *c* (fig. 388). Il loro insieme forma il sistema che Soleil chiamò *produttore delle tinte sensibili*. Infatti, la tinta più sensibile, cioè quella che fa distinguere una differenza anche assai piccola nella colorazione delle due metà della piastra di rotazione, non è la stessa per tutti gli occhi: per la maggior parte degli individui è una tinta turchino-violacea simile a quella del fiore del lino. È dunque importante il produrre facilmente questa tinta o qualsiasi altra che riesca più sensibile all'occhio dell' osservatore. A questo effetto trovasi disposta davanti al prisma *c* una lamina di quarzo o tagliata perpendicolarmente all'asse, poi un piccolo cannocchiale di Galileo (481) formato da un vetro bi-convesso *g* e da uno bi-concavo *f*, i quali possono avvicinarsi l'uno all'altro a norma della distanza della visione distinta dell'osservatore. Finalmente, l'apparecchio è completato da un prisma di Nicol *a* fissato nel tubo *t*, che può ruotare sopra sè stesso Ora, operando, relativamente al quarzo *o*, il prisma birifrangente e come polarizzatore, ed il prisma *a* come analizzatore, ne segue che, facendo ruotare quest'ultimo a destra od a sinistra, la luce, la quale attraversò il prisma *c* e la piastra *o*, cangia di tinta (537) e riesce a dare quella che lo sperimentatore ha adottata per tinta fissa.

540. Analisi dell'orina dei diabetici — Nella malattia conosciuta sotto il nome di *diabete zuccherino* le orine sono cariche di una grande quantità di uno zuccaro fermentabile, che dicesi zuccaro di diabete. Questo zuccaro allo stato naturale nelle orine devia il piano di polarizzazione verso destra. Per valutare la quantità di zuccaro contenuto nelle orine dei diabetici, si comincia col chiarificarle, se non sono abbastanza limpide, per mezzo dell' acetato basico di piombo; si filtra, si empie il tubo *m* di orina così chiarificata, poi si fa ruotare il bot-

tone *b* fino a che ottengasi per la piastra a due rotazioni la stessa tinta che si aveva prima dell'interposizione dell'orina. Avendo l'esperienza insegnato che cento parti della scala del saccarimetro rappresentano lo spostamento che si deve dare ai quarzi compensatori quando si trovano nell'orina 225gr,6 di zuccaro per ogni litro, ne segue che ciascuna divisione della scala rappresenta assai prossimamente 2 grammi ed 1/4 di zuccaro. Quindi, per ottenere la quantità di zuccaro contenuto in una data orina, bisogna moltiplicare 2gr,256 per il numero che indica il nonio al momento in cui si ottiene la tinta primitiva.

COLORI PRODOTTI DALL' INTERFERENZA DEI RAGGI POLARIZZATI.

541. Leggi dell' interferenza dei raggi polarizzati. — Dopo la scoperta della polarizzazione, Arago e Fresnel investigarono se i raggi polarizzati potevano interferire come i raggi non polarizzati, e così arrivarono a scoprire le leggi seguenti sull'interferenza della luce polarizzata ed i brillanti fenomeni di colorazione che descriveremo in appresso (542 a 547).

1.ª legge. — *Due raggi polarizzati nello stesso piano interferiscono fra loro assolutamente come due raggi naturali.*

2.ª legge — *Due raggi polarizzati in piani perpendicolari fra loro, non interferiscono nella circostanza in cui interferirebbero due raggi naturali.*

3.ª legge. — *Due raggi polarizzati previamente in piani perpendicolari possono essere ricondotti al medesimo piano di polarizzazione senza acquistare per ciò la proprietà di interferire tra loro.*

4.ª legge. — *Due raggi polarizzati in piani perpendicolari e ricondotti poscia allo stesso stato di polarizzazione, interferiscono tra loro come la luce ordinaria se furono primitivamente polarizzati nel medesimo piano.*

5.ª legge. — *Nei fenomeni di interferenza tra raggi che hanno subìto la doppia rifrazione, il luogo delle frange colorate non è determinato unicamente dalla differenza di cammino o di velocità, ma in certe circostanze bisogna anche tener conto dell'eccesso di una semi-ondulazione.*

Queste leggi sono assai importanti perchè spiegano le diverse circostanze nelle quali i raggi polarizzati presentano o non presentano quei fenomeni di colorazione, che ora ci facciamo a descrivere.

542. Colori prodotti dalla luce polarizzata che attraversa le lamine sottili birifrangenti. — Studiando le proprietà della luce polarizzata (530), si è veduto che un fascio di luce polarizzata per riflessione sopra un primo specchio non è più riflesso da un altro, se i due piani di riflessione sono tra loro perpendicolari, ovvero che la luce polarizzata non può attraversare una lamina di tormalina il cui asse sia parallelo al piano di polarizzazione; finalmente, che la luce stata polarizzata pel passaggio attraverso ad un prisma birifrangente dà una sola immagine quando il piano della se-

zione principale di questo prisma è perpendicolare o parallelo al piano di polarizzazione. Ora, in tutte queste esperienze si possono cangiare onninamente i fenomeni col far passare la luce, già polarizzata, attraverso ad una lamina sottile di mica, di solfato di calce, di cristallo di rocca, di carbonato di calce o di altra sostanza qualsiasi birifrangente.

Per osservare i fenomeni che in tal caso vengono prodotti, il più comodo apparato è quello di Noremberg (fig. 383 e 384). In g (fig. 384) trovasi un prisma birifrangente o una tormalina o un prisma di Nicol. La lamina sottile cristallizzata viene disposta sul diaframma c, ovvero in p, sullo specchio di vetro. Importa però osservare che in quest' ultimo caso la luce polarizzata sulla lastra semplice u attraversa due volte la lamina cristallizzata posta in p e che, per conseguenza, si ottiene lo stesso effetto come se la lamina fosse attraversata una volta sola dalla luce polarizzata, ma avesse grossezza doppia.

Ora, si è veduto che, collocato in g per analizzatore un prisma birifrangente (535), sino a che sull'apparato non sia posta la lamina di cristallo, il fascio polarizzato sul vetro n rimandato verso il prisma, attraver a dolo subisce la doppia rifrazione; e perciò l'occhio collocato di sopra vede due immagini dell'apertura e esistenti nel centro del diaframma a. Queste due immagini sono bianche ed egualmente intense, e col far ruotare il prisma sul suo sostegno, ognuna di esse successivamente si indebolisce, poi si estingue ogni qualvolta la sezione principale del prisma diventa perpendicolare o parallela al piano di polarizzazione del fascio.

Ciò premesso, ecco i fenomeni che si osservano quando al di sotto del prisma si interpone una lamina birifrangente tagliata parallelamente all'asse.

1.° Se la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio, l'occhio vede sempre due immagini bianche le quali, quando si faccia ruotare il prisma, subiscono le stesse variazioni di intensità come se non fosse interposta la lamina.

2.° Quando la sezione principale della lamina non è nè parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione, le due immagini sono colorate, e i loro colori sono complementarii, poichè quando pei loro lembi si sovrappongono la parte comune è bianca (fig. 385).

3.° Tenendo fissa la lamina, e facendo ruotare il prisma, le tinte delle immagini non variano, ma varia la loro intensità, e la massima si ottiene quando la sezione principale del prisma fa con quella della lamina un angolo di 45 o di 135 gradi, cioè si ha l'intensità massima nelle posizioni intermedie a quelle che corrispondono ai casi delle immagini bianche; inoltre le immagini si scambiano successivamente a vicenda i colori, passando pel bianco allorchè le sezioni principali del prisma e della lamina sono parallele o perpendicolari tra loro.

Adoperando per analizzatore una tormalina od un prisma di Nicol, in luogo di un prisma birifrangente, si osservano ancora gli stessi fenomeni di colorazione, ma si ottiene una sola immagine.

543. Influenza della grossezza delle lamine. — Adoperando lamine della stessa sostanza, le tinte cangiano colla grossezza e diminuiscono di intensità a misura che la grossezza aumenta; anzi esiste un limite oltre il quale non si ottiene più veruna colorazione. Per la mica questo limite è di 88 centesimi di millimetro; è di 45 centesimi pel solfato di calce ed il cristallo di rocca, e di 25 millesimi per lo spato d'Islanda. Perciò la colorazione si ottiene assai difficilmente con quest'ultima sostanza, essendo molto difficile il tagliarla in lamine così sottili. Al contrario colla mica e col solfato di calce, i quali si possono cilvare con somma facilità in lamine assai sottili, l'esperimento riesce benissimo.

Da una stessa lamina si ottengono tinte differenti, inclinandola più o meno rispetto al fascio polarizzato che la attraversa. Ciò, infatti, equivale a far variare la grossezza della lamina.

Con lamine di una stessa sostanza e di grossezze progressivamente crescenti variano le tinte giusta le stesse leggi delle tinte degli anelli colorati di Newton corrispondenti a strati d'aria di mano in mano crescenti di grossezza (528), colla sola differenza che la lamina cristallizzata dev'essere molto più grossa dello strato d'aria. Infatti, per una tinta dello stesso ordine, la grossezza della lamina di mica dev'essere 440 volte quella della falda di aria; pel cristallo di rocca 230 volte; per lo spato d'Islanda soltanto 13 volte.

544. Teoria della colorazione prodotta dalla luce polarizzata. — Fresnel dedusse dalla teoria delle ondulazioni una spiegazione semplice e compiuta dei colori prodotti dalla luce polarizzata che attraversa le lamine birifrangenti, mostrando che queste tinte sono prodotte dalla disuguaglianza di velocità dei raggi ordinario e straordinario dopo che hanno attraversata la lamina birifrangente, dalla quale ineguaglianza di velocità nei due sistemi di ondulazioni hanno origine degli avanzamenti e dei ritardi che li pongono in condizioni favorevoli alla interferenza, ed a manifestare perciò la colorazione (526).

Per intendere la produzione dei colori originati dalla interferenza dei raggi polarizzati che hanno attraversata una lamina birifrangente, consideriamo ciò che accade nell'esperimento già descritto (535) che si eseguisce coll'apparato di Noremberg. Supponiamo che la lamina cristallizzata sia ad un asse solo e che questo asse faccia un angolo di 45 gradi col piano di polarizzazione del fascio incidente. Attraversando la lamina birifrangente, questo fascio si divide in due, ordinario l'uno e l'altro straordinario, di diseguale intensità e polarizzati in piani che fanno rispettivamente angoli di $+45^{\circ}$ e di -45° col piano di polarizzazione primitivo: ne segue che questi due fasci sono polarizzati in piani perpendicolari fra loro, e perciò non possono interferire, giusta la seconda legge di Arago e Fresnel (541). Ciò posto, si chiamino O ed E i due fasci ordinario e straordinario, i quali, uscendo dalla lamina sottile, cadono sul prisma birifrangente la cui sezione principale supporremo situata nel piano primitivo di polarizzazione. Ciascuno dei fasci O ed E, attraversando il prisma, si divide in due altri, dei

quali chiameremo O^{o} O_e quelli che hanno origine dal primo ed E_o E_e quelli che provengono dal secondo: i quattro fasci avranno tutti l'eguale intensità. Ora, i fasci E^e ed O_e sono paralleli perchè hanno lo stesso indice di rifrazione e differiscono l'uno dall'altro soltanto per un intervallo di ondulazioni che chiamaremo d; anche i fasci E_o ed O_e sono paralleli, ma differiscono d'un intervallo espresso da $d \pm \frac{1}{2}$ ondulazioni, perchè, passando dal raggio ordinario allo straordinario bisogna computare una mezza ondulazione in più o in meno (541 5.ª legge). Ora, siccome i raggi di ciascuna coppia sono ricondotti ad uno stesso piano di polarizzazione, cioè i raggi ordinarii O_o ed E_o nel piano della sezione principale del prisma, ed i raggi O_e ed E_e in un piano perpendicolare al primo, così possono interferire quei raggi di una stessa coppia che corrispondono l'uno all'intervallo d, e l'altro all'intervallo d aumentato di un numero dispari di semi-ondulazioni.

Si immagini ora che la lamina cristallizzata sia attraversata da un secondo fascio polarizzato in un piano perpendicolare al piano di polarizzazione precedentemente considerato: quest'altro fascio subirà le stesse suddivisioni del precedente, ma gli intervalli di ritardo saranno differenti. Diffatti, il piano di polarizzazione del nuovo fascio ora si riferisce al piano della rifrazione ordinaria, mentre prima riferivasi a quello della straordinaria; perciò risulta una differenza di una semi-ondulazione nella posizione relativa dei due sistemi di onde O ed E alla loro uscita, cioè l'intervallo, che era d nel caso precedente, sarà ora d meno un numero dispari di semi ondulazioni, e, dopo la trasmissione attraverso al prisma, gl'intervalli di ritardo dei due fasci saranno rispettivamente $d - \frac{n}{2}$ e d (n indica un numero dispari) invece di d e $d + \frac{n}{2}$ quali erano dapprima. Così si spiega perchè i due fasci si scambiano i colori quando si fa ruotare di 90 gradi il piano di polarizzazione.

Rimane ad investigare perchè non si producano colori quando per la lamina cristallizzata non passa luce polarizzata, ma luce naturale. Si è veduto (532) che la luce naturale può sempre considerarsi come formata di due fasci polarizzati ad angolo retto: d'onde risulta, giusta quanto superiormente si disse, che quando per la lamina cristallizzata passa la luce naturale, ciascuno dei fasci emergenti O ed E fornisce colori complementarii di quelli dell'altro, i quali, essendo della stessa intensità, sovrapponendosi, producono luce bianca.

545. **Anelli colorati prodotti dalla luce polarizzata nell'attraversare le lamine birifrangenti.** — Nell'esperienza fatta coll'apparato di Noremberg e descritta precedentemente (536), passando per la lamina cristallizzata un fascio di raggi paralleli diretti perpendicolarmente alle sue facce, tutte le parti della lamina agiscono allo stesso modo e si ha dapper-

tutto la medesima tinta. Ora gli effetti si alterano quando i raggi incidenti attraversano la lamina in direzione più o meno obliqua, il che equivale a far variare la grossezza della lamina. Si formano allora degli anelli in tutto conformi agli anelli di Newton (523).

L'apparato più opportuno per osservare questi nuovi fenomeni è la *pinzetta di tormalina*. Così si chiama un piccolo strumento composto di due tormaline tagliate parallelamente all'asse ed incastrate ciascuna entro un disco d'ottone. Questi due dischi, forati al centro ed anneriti, sono fissati ciascuno entro un anello di filo di rame avvolto sopra sè stesso, come mostra la figura 393, in modo di servire da molla e di far applicare le due tormaline l'una contro l'altra. Queste, essendo girevoli insieme coi dischi, possono disporsi, come meglio piace, cogli assi paralleli o perpendicolari fra loro.

Il cristallo sul quale si vuole sperimentare viene fissato al centro di un disco di sughero, fig. 392, il quale si colloca tra le due tormaline: si di-

Fig. 392. *Fig.* 393.

spone poi la pinzetta davanti all'occhio in modo da ricevere la luce diffusa dell'atmosfera. La tormalina opposta all'occhio fa allora l'ufficio di polarizzatore, e l'altra serve di analizzatore (534). Se il cristallo adoperato è ad un solo asse, tagliato perpendicolarmente all'asse, e viene illuminato con luce omogenea, per esempio rossa, si vede una serie di anelli circolari alternativamente rossi ed oscuri. Anelli consimili si ottengono con luce semplice d'altro colore, ma il loro diametro è maggiore pei colori più rifrangibili. Aumentando la grossezza della lamina, decresce il diametro degli anelli, i quali, oltre un certo limite di grossezza, cessano affatto di manifestarsi. Se la luce che cade sulle lamine, in luogo d'essere omogenea, è bianca, gli anelli di differenti tinte che in questo caso si producono, non avendo tutti lo stesso diametro, si sovrappongono in parte e producono degli anelli iridescenti di vivissime tinte.

La posizione del cristallo non ha veruna influenza sugli anelli; ma altrettanto non può dirsi rispetto alle tormaline. Quando, per esempio, si sperimenta con uno spato d'Islanda tagliato perpendicolarmente all'asse e di una grossezza tra 1 e 30 millimetri, se gli assi delle tormaline sono fra loro perpendicolari, si osserva una bella serie di anelli con colori assai vivaci ed attraversati da una croce nera, come mostra la figura 394; se poi gli assi delle tormaline sono paralleli, gli anelli assumono i colori complementarii dei precedenti e sono attraversati da una croce bianca (fig. 395).

Per intendere la formazione degli anelli colla luce polarizzata che attraversa le lamine birifrangenti, bisogna osservare che, nel caso considerato, passa per queste lamine un fascio conico convergente il cui vertice è nell'occhio dello sperimentatore. Ne segue che la grossezza della lamina attraversata dai varii raggi è maggiore pei più lontani dall'asse del fascio, ma eguale per tutti quelli che sono all'asse stesso egualmente inclinati. Risultano quindi delle differenze tra la velocità dei raggio ordinario e quella dello straordinario, le quali spiegano la formazione dei colori e la loro disposizione circolare intorno all'asse del fascio e del cristallo. La croce nera poi è prodotta dall'assorbimento di luce polarizzata che avviene nel piano della sezione principale della tormalina e nel piano perpendicolare alla sezione stessa.

Fig. 394. *Fig.* 395. *Fig.* 396.

Effetti analoghi si osservano con tutti i cristalli ad un solo asse, come la tormalina, lo smeraldo, il corindone, il berillo, la mica, il fosfato di piombo, il ferrocianuro di potassio, il cristallo di rocca. In quest'ultimo però manca la croce, e ciò per effetto di polarizzazione rotatoria (537).

546. Anelli nei cristalli a due assi. — Anche i cristalli a due assi

Fig 397. *Fig.* 398. *Fig.* 399.

producono dei colori, ma le apparenze sono più complicate. Le zone colorate, in luogo d'essere circolari e concentriche, presentano forme di curve a due centri, di cui ciascuno corrisponde ad uno degli assi del cristallo. Le figure 397, 398 e 399 rappresentano le curve che si ottengono, colla

pinzetta di tormalina, dall'azotato di potassa tagliato perpendicolarmente all'asse.

Quando gli assi delle due tormaline sono tra loro perpendicolari, si ottiene la figura 397; facendo poi ruotare lentamente il cristallo, senza muovere le tormaline, si ottiene la figura 398 e successivamente la figura 399, che corrisponde al caso in cui il cristallo siasi fatto ruotare di 45 gradi. Se gli assi delle tormaline sono paralleli, si ottengono le stesse curve, ma i loro colori sono complementarii dei precedenti e la croce nera è mutata in bianca. Allorchè l' angolo dei due assi del cristallo supera 20 o 25 gradi non si possono simultaneamente vedere i due sistemi di curve corrispondenti ai due assi: così accade per l' aragonite che dà la figura 396.

Herschel, il quale misurò diligentemente le curve colorate prodotte dai cristalli a due assi, le ascrive al genere di quella che i geometri distinguono col nome di *lemniscata*.

517. Colorazione prodotta dal vetro temperato o compresso. — Il vetro ordinario non è dotato di birifrazione, ma l'acquista quando, per una

Fig 400. *Fig*. 401. *Fig*. 403.

Fig. 402. *Fig*. 405. *Fig*. 404.

causa qualunque, la sua elasticità venga modificata in una direzione più che in un' altra. Basta, a questo effetto, comprimerlo fortemente in un verso, curvarlo, o temperarlo, cioè raffreddarlo rapidamente dopo averlo scaldato. Il vetro così modificato, se viene attraversato da un fascio di luce polarizzata, produce effetti di colorazione, i quali, sebbene analoghi ai già descritti, prodotti dai cristalli birifrangenti, sono però più svariati, a seconda della forma circolare, quadrata, rettangolare o triangolare che hanno le lastre di vetro, e del grado di tensione delle molecole.

Le figure 400, 401 e 402 rappresentano i disegni che si osservano facendo ruotare successivamente nel proprio piano una lastra quadrata di vetro temperato, adoperando per polarizzatore un vetro nero sul quale si riceve la luce delle nubi, e per analizzatore un prisma di Nicol attraverso al quale si guarda la lastra di vetro per cui passa la luce polarizzata. Le figure 403 e 404 sono presentate, nel medesimo caso, da una lastra circolare e la figura 403 da due lastre rettangolari sovrapposte. Quest'ultima varia anch'essa facendo girare il sistema delle due lastre.

I vetri compresi o curvati presentano effetti consimili e soggetti alle stesse variazioni.

518. Polarizzazione del calorico. — Il calorico può essere polarizzato, come la luce, per riflessione e per rifrazione (530); ma le esperienze di questo genere presentano grandi difficoltà. Le prime ricerche furono fatte nel 1810 da Bérard e Malus, e, dopo la morte di quest'ultimo, furono continuate da Bérard solo.

Nelle esperienze di questo scienziato i raggi calorifici riflessi da una prima lastra di cristallo erano ricevuti sopra una seconda lastra, come nell'apparecchio di Noremberg (fig. 383), indi cadevano sopra un piccolo specchio concavo metallico, il quale li concentrava sul bulbo di un termometro differenziale. Bérard osservò per tal guisa un minimo d'intensità quando il piano di riflessione sul secondo cristallo era perpendicolare al piano di riflessione sul primo. Siccome questo fenomeno è eguale a quello presentato nel medesimo esperimento della luce (530), Bérard ne conchiuse che il calorico, riflettendosi sul primo specchio, si polarizzava.

Melloni applicò il suo termo-moltiplicatore allo studio della polarizzazione del calorico, e, facendo passare i raggi calorifici traverso due tormaline parallele, ovvero traverso due pile di mica, constatò che si polarizzavano per rifrazione Egli trovò inoltre che l'angolo di polarizzazione (531) è sensibilmente lo stesso pel calorico e per la luce.

LIBRO VIII

DEL MAGNETISMO.

CAPITOLO I.

PROPRIETÀ DELLE CALAMITE.

549. **Calamite naturali e calamite artificiali.** — Chiamansi *calamite* certi corpi che hanno la proprietà di attrarre il ferro ed alcuni altri metalli, quali il nichelio, il cobalto ed il cromo. Però accenneremo più innanzi degli esperimenti dai quali si deduce che le calamite agiscono in realtà su tutti i corpi, ma assai debolmente, ora per attrazione ed ora per ripulsione (557).

Le calamite si distinguono in naturali ed artificiali. La *calamita naturale* o *pietra di calamita* è un ossido di ferro al quale i chimici danno il nome di *ossido magnetico*. La sua formola è $Fe^3O^4 = FeO + Fe^2O^3$, risultando esso di un equivalente di protossido e di un equivalente di sesquiossido. L'ossido magnetico è assai abbondante in natura, e si rinviene nei terreni antichi, specialmente in Isvezia ed in Norvegia ove viene estratto come minerale di ferro, e fornisce la miglior qualità di ferro che si conosca. Però la maggior parte dei pezzi d'ossido di ferro magnetico non attraggono il ferro; soltanto accidentalmente essi posseggono questa proprietà.

Le *calamite artificiali* sono spranghe od aghi d'acciajo temperato (75), che non possedono primitivamente le proprietà delle calamite naturali, ma le acquistarono mediante lo strofinamento operato da una calamita o per mezzo di processi elettrici che descriveremo più innanzi. Si ottengono delle calamite artificiali anche col ferro *dolce*, cioè col ferro sensibilmente privo di qualsiasi sostanza ete-

rogenea; ma la loro magnetizzazione non è durevole come quella delle spranghe di acciajo.

Le calamite artificiali sono più potenti delle naturali, ed hanno proprietà affatto identiche.

La facoltà attrattiva delle calamite agisce a qualsiasi distanza ed a traverso di altri corpi; decresce assai rapidamente coll'aumentare della distanza e varia colla temperatura. Coulomb dimostrò che l'intensità magnetica di una spranga diminuisce a misura che se ne eleva la temperatura e che riprende il suo valore primitivo col ritorno del corpo alla primitiva temperatura, quando però il riscaldamento non abbia oltrepassato un certo limite, perchè, alla temperatura del calor rosso, le calamite perdono del tutto la loro facoltà attrattiva.

L'attrazione tra calamita ed il ferro è reciproca, come avviene di ogni sorta di attrazioni. Se ne può avere la prova presentando una massa considerabile di ferro ad una calamita, la quale ne è attratta.

La forza attrattiva delle calamite ricevette il nome di *forza magnetica*, e la teoria fisica delle medesime distinguesi pure col nome di *magnetismo* (*). Questa espressione non deve esser confusa con quella di *magnetismo animale* adottata per esprimere l'influenza che una persona eserciterebbe su di un'altra mediante l'azione della sua volontà, influenza che non è ancora stata sufficientemente dimostrata.

550. **Poli e linea neutra.** — Le calamite non sono fornite, in tutti i loro punti, di una fòrza magnetica egualmente intensa. Di fatti, facendo rotolare nella limatura di

Fig. 406.

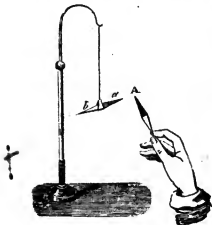
ferro una spranga magnetizzata, si vede che quella aderisce in grande quantità verso le estremità della spranga sotto forma di filamenti diritti (fig. 406); ma l'aderenza

(*) La parola magnetismo deriva dalla voce greca μαγνης colla quale gli antichi denotavano la pietra di calamita, forse perchè se ne trovasse dapprima presso la città di Magnesia nella Lidia.

della limatura decresce rapidamente dai poli verso il mezzo della spranga, ove è nulla. La parte della superficie della calamita in cui la forza magnetica è insensibile ricevette il nome di *linea neutra*, e i due punti vicini alle estremità, ove si manifesta l'attrazione massima, chiamansi *poli*. Ogni calamita, naturale od artificiale, presenta due poli ed una linea neutra; però le spranghe e gli aghi magnetizzati offrono qualche volta delle alternative di poli contrarii situati tra i poli estremi. Questi poli intermedii chiamansi *punti conseguenti*. Noi supporremo sempre il caso ordinario, cioè che le calamite abbiano soltanto due poli.

Uno dei poli è distinto col nome di *polo australe* e l'altro con quello di *polo boreale*; queste espressioni sono desunte dall'azione che i poli terrestri esercitano (558) sui poli delle calamite. Nelle nostre figure il polo australe sarà sempre rappresentato dalla lettera *a* od A, ed il polo boreale dalla lettera *b* o B; chiameremo poi poli dello *stesso nome* quelli che sono rappresentati dalla stessa lettera.

Fig. 407.

551. Azioni mutue dei poli. — I due poli di una calamita, quando si presentano alla limatura di ferro, sembrano identici; ma questa identità è soltanto apparente. Di fatti, sospendendo un piccolo ago magnetizzato *ab* (fig. 407) ad un filo sottile, ed avvicinando al suo polo australe *a* il polo australe A di un altro ago, si osserva una energica ripulsione; avvicinando, al contrario, il polo A al polo boreale *b* dell'ago mobile, si produce una forte attrazione. Quindi i poli *a* e *b* non sono identici, poichè l'uno è respinto e l'altro attratto dallo stesso polo A della calamita che si tiene in mano. Si verifica inoltre che i due poli di quest'ultima differiscono tra loro, presentandoli successivamente allo stesso polo *a* dell'ago mobile. Con uno di essi avviene ripulsione, e coll'altro attrazione. Si può quindi stabilire questa legge semplice sulle azioni reciproche che si esercitano fra due calamite:

I poli dello stesso nome si respingono ed i poli di nome contrario si attraggono.

Le azioni contrarie del polo boreale e del polo australe si dimostrano anche coll'esperimento seguente: si fa in modo che una spranga magnetizzata sostenga un oggetto di ferro, per esempio, una chiave; poi sopra questa spranga se ne fa scorrere un'altra, che abbia sensibilmente la stessa forza (fig. 408), usando l'avvertenza di mettere a riscontro i poli contrarii. La chiave è sostenuta fintanto che i due poli sono lontani, ma cade tosto che essi sono sufficientemente ravvicinati, come se la spranga che la sosteneva avesse perduto ad un tratto la facoltà magnetica; il che però non è, potendo essa sostenere di nuovo la chiave appena che si ritiri la seconda spranga.

552. **Ipotesi di due fluidi magnetici.** — Per ispiegare i fenomeni accennati nel paragrafo precedente, i fisici adottarono l'ipotesi di due *fluidi magnetici*, ciascuno dei quali agisca per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sull'altro. Questi fluidi furono distinti coi nomi di *fluido boreale* e di *fluido australe*, desunti dai nomi dei poli delle calamite ove le loro azioni sono prevalenti.

Fig. 408.

Si ammette che nell'acciajo non ancora magnetizzato questi fluidi siano combinati intorno a ciascuna molecola e si neutralizzino reciprocamente; ma che possano essere separati sotto l'influenza di una forza superiore alla loro mutua attrazione, e spostati intorno alle molecole senza uscire della propria sfera di attività intorno a ciascuna di esse. I fluidi sono allora *orientati*, cioè nella sfera magnetica da cui ciascuna malecola è circondata, il fluido boreale è costantemente rivolto in una stessa direzione, ed il fluido australe in una direzione opposta, d'onde provengono due risultanti di direzione contraria, i cui punti

di applicazione sono i due poli della calamita. Ma appena che cessi l'orientazione dei fluidi, l'equilibrio si stabilisce di nuovo intorno a ciascuna molecola e la risultante finale è nulla, cioè cessa l'attrazione e la ripulsione.

L'ipotesi dei due fluidi magnetici si presta in un modo semplicissimo alla spiegazione dei fenomeni; epperò è generalmente adottata come mezzo di dimostrazione. Nullameno vedremo più innanzi come molto probabilmente i fenomeni magnetici non risultino da azioni opposte di due fluidi speciali, ma da correnti particolari del fluido elettrico nei corpi magnetizzati. Questa seconda ipotesi presenta il vantaggio di collegare la teoria del magnetismo con quella della elettricità (694).

553. **Differenza fra le sostanze magnetiche e le calamite.** — Chiamasi *sostanze magnetiche* le sostanze che sono attratte dalla calamita, come il ferro, l'acciajo ed il nichelio. Queste sostanze contengono i due fluidi, ma allo stato di neutralizzazione. I composti ferruginosi sono generalmente magnetici, e tanto più quanto sono più ricchi di ferro. Però, alcuni, quale il persolfuro di ferro, non sono attratti dalla calamita.

Si distingue facilmente una sostanza magnetica da una calamita. La prima manca di poli, e presentata successivamente alle due estremità di un ago mobile *ab* (fig. 407) le attrae ambedue, mentre una calamita ne attrarrebbe una e ne respingerebbe l'altra qualora venisse ad esse presentata collo stesso polo.

554. **Calamite per influenza.** — I due fluidi di una sostanza magnetica posta a contatto con una spranga

Fig. 409.

magnetizzata vengono separati, e questa sostanza, finchè persiste il contatto, diventa una calamita perfetta fornita de' suoi due poli e della sua linea neutra. Per esempio, se da uno dei poli di una calamita (fig. 409) si

fa sostenere un piccolo cilindro *ab* di ferro dolce, questo cilindro può, alla sua volta, sostenerne un altro simile, e questo ne può sostenere un terzo, e così di seguito, fino a 7 od 8, secondo la forza della spranga. Quindi ciascuno di questi piccoli cilindri è una calamita, ma soltanto fin che continua l'influenza della spranga magnetizzata; perchè, interrompendosi il contatto di quest'ultima col primo cilindro, od all'istante o dopo un brevissimo tratto di tempo, gli altri cilindri si distaccano e non conservano alcuna traccia di polarità magnetica. Quindi emerge evidentemente che la separazione dei due fluidi è soltanto temporaria e che la calamita non ha ceduto nulla al ferro. Sotto l'influenza di una forte calamita anche il nichelio acquista assai patentemente la polarità magnetica.

Col magnetismo per influenza si spiega la formazione dei filamenti di limatura che si attaccano ai poli delle calamite (fig. 406). Le particelle che toccano la calamita agiscono per influenza sulle particelle vicine, e queste sulle successive, e così di seguito, d'onde la disposizione in fili che assume la limatura attorno a ciascun polo.

555. **Forza coercitiva**. — Chiamasi *forza coercitiva* la forza più o meno intensa che si oppone, in una sostanza magnetica, alla separazione dei due fluidi od alla loro ricomposizione quando siano stati separati. Dal precedente esperimento si desume che questa forza nel ferro dolce è minima, poichè questo metallo assume istantaneamente la polarità magnetica per l'influenza di una calamita. Invece nell'acciajo temperato questa forza è grande e tanto più quanto più forte è la tempera. Di fatti, una spranga d'acciajo, posta a contatto con una calamita, si magnetizza con molta lentezza; anzi bisogna strofinarla con uno dei poli della calamita per impartirle tutta la forza magnetica di cui è suscettibile. Epperò, la separazione dei due fluidi offre in questo caso una resistenza che non si incontra nel ferro dolce. Lo stesso accade per la loro ricomposizione, perchè una spranga d'acciajo, quando sia stata magnetizzata, perde assai difficilmente la polarità magnetica. Si vedrà quanto prima come per mezzo della ossidazione, della compressione o della torsione anche il ferro dolce possa acquistare una certa forza coercitiva, la quale però è poco durevole.

556. **Esperimento delle calamite spezzate**. — Col seguente esperimento si dimostra la presenza dei due fluidi in tutte le parti di una calamita. Si magnetizza un

lungo ago di acciàjo, strofinandolo con uno dei poli di una calamita; indi, dopo di avere constatata l'esistenza dei due poli e della linea neutra per mezzo della limatura di ferro, si rompe l'ago nel suo mezzo, cioè nella direzione della sua linea neutra. Allora, presentando successivamente i due pezzi ai poli di una calamita mobile (fig. 407), si osserva che, invece di contenere un solo fluido, ognuno di essi ha due poli contrarii ad una linea neutra. Rompendo parimenti queste nuove calamite in due parti, si trova ancora che ognuna di queste ultime è una calamita compiuta, fornita de' due poli e della sua linea neutra, e così successivamente finchè si possono continuare le divisioni; d'onde, per analogia, si conchiude che le più piccole parti di una calamita contengono i due fluidi.

557. **Azioni delle calamite su tutti i corpi, diamagnetismo.** — Coulomb, pel primo, nel 1802, osservò che le calamite agiscono su tutti i corpi in gradi più o meno distinti; egli constatò questo fenomeno facendo oscillare delle piccole aste di sostanze differenti prima fra i poli opposti di due forti spranghe magnetizzate, indi lungi dalla influenza di qualsiasi calamita, e paragonando i numeri delle oscillazioni compiute da queste aste, nell'uno e nell'altro caso, in tempi eguali. Dapprima si attribuirono questi fenomeni alla presenza di materie ferruginose nei corpi sottoposti all'esperimento; ma Lebaillif ed in seguito Becquerel dimostrarono che le calamite esercitano realmente una azione su tutti i corpi. Si constatò inoltre che questa azione è ora attrattiva, ora ripulsiva: i corpi che vengono attratti ricevettero il nome di corpi *magnetici*, e quelli che sono respinti furono chiamati corpi *diamagnetici*. Fra questi ultimi si noverano il bismuto, il piombo, il solfo, la cera, l'acqua, ecc. Il rame ora è magnetico, ora diamagnetico, il che dipende probabilmente dal suo grado diverso di purezza.

Faraday, nel 1847, riconobbe che le calamite potenti esercitano sulle fiamme una azione ripulsiva, che attribuì ad una differenza di diamagnetismo fra i gas. In seguito, Edmondo Becquerel, il quale fece importanti studii intorno a questo argomento, riconobbe che l'ossigeno è il gas il quale possiede la più energica potenza magnetica, e che un metro cubo di questo gas condensato agirebbe su di un ago magnetizzato come 5gr,5 di ferro.

Alcuni fisici considerarono il diamagnetismo siccome una proprietà distinta dal magnetismo. Edmondo Becque-

rel collega insieme i fenomeni del magnetismo e del diamagnetismo con una ipotesi ingegnosa; egli non ammette due generi di azioni fra i corpi e le calamite, ma soltanto una magnetizzazione per influenza, e ritiene che la ripulsione esercitata su certe sostanze sia dovuta al trovarsi queste ultime circondate da un mezzo più magnetico di loro.

Nella teoria della elettricità, parlando dei fenomeni di induzione, faremo conoscere un' azione reciproca che si esercita fra le calamite ed i metalli in movimento.

CAPITOLO II.

MAGNETISMO TERRESTRE, BUSSOLE.

558. **Azione direttrice della terra sulle calamite.** — Sospendendo un ago magnetizzato ad un filo, come rappresenta la figura 407, od appoggiandolo su di un perno verticale intorno al quale possa facilmente ruotare (fig. 410), si osserva che quest'ago, invece di fermarsi in una posizione qualunque, finisce sempre coll'arrestarsi in una direzione che è prossimamente dal nord al sud. Lo stesso avviene quando in un vase pieno d'acqua si collochi un piccol disco di sughero, e su di questo una piccola spranga magnetizzata; dapprima il sughero oscilla,

Fig. 410.

e, quando si ferma, la linea retta che congiunge i due poli della calamita trovasi ancora sensibilmente nella direzione dal nord al sud. Devesi però notare che, in questo esperimento, il sughero e la spranga non si avanzano nè verso il nord, nè verso il sud; epperò l'azione dei poli terrestri sulle calamite non è attrattiva, ma *soltanto direttrice.*

Siccome gli esperimenti fatti in tutti i punti della terra fornirono analoghi risultati, si paragonò la terra ad un'immensa calamita i cui poli sarebbero vicini ai poli terrestri, e la cui linea neutra coinciderebbe sensibilmente col-

l'equatore. Fu appunto dietro questa ipotesi che si chiamò fluido boreale quello che predomina al polo boreale del globo, e fluido australe quello che predomina al polo opposto. In questa supposizione la terra agisce sugli aghi come una calamita, onde i poli dello stesso nome si respingono e quelli di nome contrario si attraggono (551). Quindi, allorchè un ago magnetizzato si fissa nella direzione dal nord al sud, il polo che guarda il nord contiene il fluido australe, e quello che è rivolto al sud contiene il fluido boreale; e perciò il polo che guarda il nord si chiama polo australe, e quello che guarda il sud polo boreale (*).

559. **Coppia magnetica terrestre.** — Da quanto precede risulta che l'azione magnetica della terra su di un ago magnetizzato può essere paragonata ad una *coppia*, cioè ad un sistema di due forze eguali, parallele e dirette in versi contrarii, applicate alle due estremità dell'ago. Di fatti, sia *ab* un ago mobile sopra un perno ed

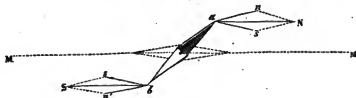



Fig. 411.

inclinato di un angolo qualunque col meridiano magnetico MM'. (fig. 411). Siccome il polo boreale della terra attrae il polo australe *a* e respinge il boreale *b*, ne risultano due forze contrarie *an* e *bn'* eguali e parallele; perchè il polo terrestre è abbastanza lontano e l'ago è abbastanza piccolo per poter ammettere che le due direzioni *an* e *bn'* siano parallele e che i due poli *a* e *b* siano egualmente distanti dal polo boreale della terra. Ora il polo australe terrestre opera esso pure nello stesso modo sull'ago, e ne risultano perciò due altre forze *as* e *bs'* pure eguali e parallele. Ma le due forze *an* ed *as* equivalendo ad una risultante unica aN, e le *bn'* *bs'* ad una risultante *bS*, queste due forze *a*N e *bS* costituiscono la *coppia magne-*

(*) Da molti però è adottata la denominazione di polo *nord* per quel polo di una calamita che si volge a settentrione, e di polo *sud* per l'altro. *(Nota dei Trad.)*

tica terrestre: questa fa girare l'ago sino a condurlo nella direzione del meridiano magnetico, nella quale posizione le forze N ed S si fanno equilibrio.

560. **Meridiano magnetico, declinazione**. — Si sa che il *meridiano astronomico* di un luogo è il piano che passa per questo luogo e pei due poli terrestri, e che la *meridiana* è la traccia di questo piano sulla superficie del globo. Chiamasi parimenti *meridiano magnetico* di un luogo il piano che, in questo luogo, passa pel centro della terra e pei due poli dell'ago magnetizzato mobile, in equilibrio su di un asse verticale.

Ciò posto, siccome il meridiano magnetico, in generale, non coincide col meridiano astronomico, chiamasi *declinazione dell'ago magnetizzato*, in un luogo, l'angolo che fa il meridiano magnetico col meridiano astronomico, o, ciò che è lo stesso, l'angolo che fa la direzione dell'ago colla meridiana. La declinazione è detta *orientale* od *occidentale*, a norma che il polo australe dell'ago è all'est od all'ovest del meridiano astronomico.

561. **Variazioni della declinazione**. — La declinazione dell'ago magnetizzato, assai varia da un luogo all'altro, è occidentale in Europa ed in Africa, orientale in Asia e nelle due Americhe. Inoltre in uno stesso luogo presenta numerose variazioni, alcune delle quali si possono considerare come regolari, e sono secolari, annue o diurne, altre sono irregolari e si distinguono col nome di perturbazioni.

Variazioni secolari. — Per uno stesso luogo la declinazione varia col tempo e l'ago sembra fare, all'est ed all'ovest del meridiano astronomico, delle oscillazioni la cui durata è di parecchi secoli. Per Parigi si conosce la declinazione dal 1580 in poi: la seconda tavola rappresenta le variazioni che essa ha subìto (*).

(*) Per Milano le declinazioni furono:

nel 1840 di 17° 53' all'ovest		nel 1850 di 16° 54' all'ovest
„ 1845 17° 22' „		„ 1852 16° 40', 5 „

Nel decennio dal 1843 al 1853 la variazione secolare fu di 6' all'anno.

(I Trad.)

Anni	Declinazioni	Anni	Declinazioni
1850	11°30′ all'est	1825	22°22′ all'ovest
1663	0	1830	22 12
1700	8 10 all'ovest	1835	22 4
1780	19 55	1850	20 30
1785	22 00	1851	20 25
1814	22 34	1853	20 17
1816	22 25	1855	19 57
		1860 (11 novembre)	19 32

Questa tabella mostra che dal 1580, a Parigi, la declinazione ha variato di oltre 34° e che il massimo di declinazione occidentale si ebbe nel 1814; da quell'epoca l'ago ritorna verso l'oriente.

Variazioni annue. — Le variazioni annue furono constatate da Cassini, il quale, nel 1784, osservò che a Parigi, dall'equinozio di primavera al solstizio d'estate l'ago retrocedeva verso l'est, e che invece si avanzava verso l'ovest nei nove mesi successivi. La massima ampiezza osservata durante lo stesso anno è stata di 20′. Del resto, le variazioni annue sono pochissimo conosciute e non sembrano costanti.

Variazioni diurne. — Oltre le variazioni secolari ed annue, la declinazione subisce delle variazioni diurne assai deboli e che si possono constatare soltanto sopra lunghi aghi e col soccorso di strumenti sensibilissimi. Nei nostri climi, l'estremità nord dell'ago si muove tutti i giorni dall'est all'ovest dal levare del sole fin verso un'ora dopo mezzo giorno; ritorna in seguito verso l'est, con un movimento retrogrado, in modo da riprendere, quasi esattamente, verso dieci ore di sera, la posizione che occupava la mattina. Di notte l'ago presenta soltanto piccolissime variazioni; però, di nuovo, sebbene di pochissimo, si sposta verso l'ovest.

A Parigi l'ampiezza media della variazione diurna è per i mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre di 13 a 15′ e per gli altri mesi di 8 a 10′ (*). In alcuni giorni si eleva a 25′, e in altri non oltrepassa 5′. La massima deviazione non succede dappertutto alla

(*) A Milano l'ampiezza media della variazione diurna è pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto settembre dai 12 ai 14′, e per gli altri mesi dai 4 ai 6′,5. La media di tutte le variazioni diurne è di 9′,6.
(*I Trad*).

stessa ora. L'ampiezza delle variazioni diurne decresce dai poli verso l'equatore ove è piccolissima. Vicino all'equatore avvi una linea senza variazione diurna.

Variazioni accidentali o *perturbazioni*. — La declinazione dell'ago magnetizzato è disturbata accidentamente nelle sue variazioni diurne da parecchie cause, quali sono le aurore polari, le eruzioni vulcaniche, lo scoppio del fulmine. L'effetto delle aurore polari si fa sentire a grandi distanze: quelle per esempio, che sono visibili soltanto nel nord dell'Europa, agiscono sull'ago a Parigi, ove si osservarono talvolta delle variazioni accidentali di 20'. Nelle regioni polari queste oscillazioni hanno spesso l'ampiezza di parecchi gradi. Il moto irregolare dell'ago, nel giorno che precede l'aurora polare, è un pronostico del fenomeno.

562. **Bussola di declinazione.** — La *bussola di declinazione* è uno strumento che serve a misurare la declinazione magnetica di un luogo, quando se ne conosca il meridiano astronomico. Consiste in una scatola di ottone AB (fig. 412) sul fondo della quale trovasi un cerchio graduato M. Al centro di questo v'è un perno sul quale si appoggia un ago magnetizzato *ab* leggierissimo e foggiato a rombo. Alla scatola sono applicati due ritti che sostengono un asse orizzontale X sul quale è fissato un cannocchiale astronomico L, che può ruotare in un piano verticale. La scatola AB è sostenuta da un piede P sul quale essa può girare orizzontalmente trasferendo seco il cannocchiale. Un cerchio fisso QR, che dicesi *cerchio azimutale*, serve a misurare in gradi la rotazione orizzontale del cannocciale per mezzo di un nonio V fissato alla scatola. Finalmente, l'inclinazione del cannocchiale coll'orizzonte viene misurata da un nonio K, che si muove insieme coll'asse del cannocchiale e gira sopra un arco di cerchio fisso *x*.

Ciò posto, conoscendo il meridiano astronomico di un luogo, e volendosi quivi determinare la declinazione magnetica, si comincia dal disporre la bussola orizzontale per mezzo di viti di livello SS e della livelletta *n*, poi si fa girare la scatola AB fino a situare il cannocchiale nel piano del meridiano astronomico. Leggendo allora sul cerchio graduato M l'angolo che fa l'ago magnetico col diametro N corrispondente allo zero della graduazione posto nel piano verticale che passa pel cannocchiale, si ha la declinazione. Questa è occidentale ovvero orientale,

secondo che il polo dell'ago si ferma all'occidente o all'oriente del diametro N.

Nel caso in cui il meridiano astronomico del luogo non fosse noto, si può determinarlo per mezzo della stessa bussola. Per ciò si fa uso del cerchio azimutale QR e del-

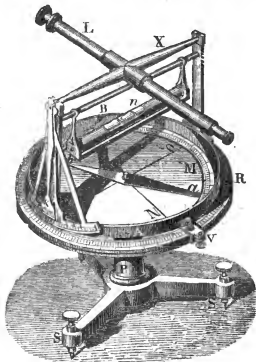



Fig. 412.

l'arco x, osservando un astro conosciuto, prima e dopo del suo passaggio al meridiano, e adoperando il ***metodo delle altezze eguali*** descritto nei trattati di cosmografia, il quale serve per la determinazione della meridiana.

563. Metodo del rovesciamento. — Le applicazioni della bussola di declinazione, che abbiamo indicate, non sono esatte se non quando l'asse magnetico dell'ago, cioè la retta che passa per i suoi due poli, coincide coll'asse di figura, ossia colla retta che ne congiunge le due estremità. Ora, siccome una tale condizione, in generale, non si trova soddisfatta, si corregge questa causa di er-

rore col metodo del rovesciamento. Perciò l'ago non è fissato al cappelletto, ma gli è soltanto sovrapposto onde si possa toglierlo, rivolgerlo e collocarlo di nuovo sul medesimo, in modo che la superficie inferiore diventi superiore e viceversa. Prendendo la media fra la declinazione allora segnata dall'ago e quella che indicava dapprima, si ha la declinazione esatta.

Di fatti, se la retta *ce* rappresenta l'asse di figura dell'ago, e la retta *ab* il suo asse magnetico (fig. 413), la vera declinazione non è segnata dall'arco *c*N, il quale è troppo grande, ma dall'arco *a*N. Ora, rivolgendo l'ago, l'asse magnetico *ab* non assume la posizione *a'b'*, ma ritorna esattamente alla sua prima direzione, mentre l'altra estremità *c*, passando allora fra i punti *a* ed N, segna un arco che è minore della vera declinazione precisamente di una quantità eguale a quella di cui la supera il primo. Quindi la media fra i due archi osservati dà la declinazione vera.

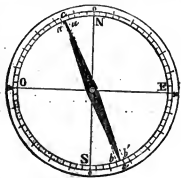



Fig. 413

564. **Bussola marina.** — L'azione direttrice della terra sull'ago magnetizzato ricevette una importante applicazione nella *bussola marina*, conosciuta anche sotto i nomi di *compasso di variazione* o di *compasso di mare.* È una bussola di declinazione per mezzo della quale si possono dirigere le navi. La figura 414 la rappresenta chiusa in una cassa parallelepipeda, che si colloca pur essa in una cassa più grande chiamata *abitacolo*, e che è fissata sul ponte, alla parte posteriore della nave. La figura 415 ne rappresenta una sezione trasversale. In queste due figure le stesse lettere indicano gli stessi oggetti.

L'ago *ab* (fig. 415), mobilissimo su di un perno, è fissato alla superficie inferiore di una foglia di talco, sulla quale è tracciata una stella o *rosa* a 32 raggi, che segna gli 8 rombi dei venti, i semirombi ed i quarti. La bussola, perchè possa sempre conservare la sua posizione orizzontale malgrado l'oscillazione trasversale e longitudinale della nave, è a *sospensione di Cardano*, ossia so-

stenuta da due anelli concentrici mobili, uno intorno all'asse *zx*, l'altro intorno all'asse *cd* perpendicolare al primo e sostenuto dall'anello fisso all'asse *cd* (fig. 414).

Per rischiarare la bussola durante la notte, si colloca davanti all'apertura M, chiusa da una lastra di vetro smerigliato, una lampada la quale projetta la sua luce nell'interno della scatola. Il fondo *n* della cassa cilindrica O, nella quale trovasi l'ago, è una lastra di vetro la quale lascia passare la luce per rischiarare la foglia

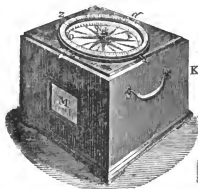
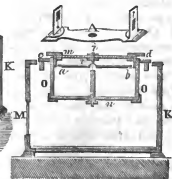



Fig. 414. *Fig.* 415.

di talco *t*, che porta la rosa ed è trasparente. Una seconda lastra di vetro *m* copre la bussola, ed un perno *i*, fissato al centro di questa lastra, serve a collocare una diottra A, della quale si fa uso soltanto quando vogliasi riconoscere delle spiaggie.

Per dirigere una nave mediante una bussola, si esamina dapprima, su una carta marina, secondo qual rombo di vento la nave debba avanzarsi per arrivare al luogo destinato. Allora il timoniere, coll'occhio sempre rivolto alla bussola, gira il timone fintanto che il rombo determinato, segnato sulla rosa, coincida con una *linea fiduciale* che passa pei due punti *c* e *d*, tracciati sui lembi della scatola (fig. 414), nella direzione della chiglia della nave. Però le variazioni che subisce la declinazione nei diversi punti del globo obbligano i navigatori a correggere continuamente le osservazioni che fanno colla bussola.

Non si conosce l'inventore della bussola, nè l'epoca precisa della sua invenzione. Guyot de Provins, poeta francese del XII secolo, parla, pel primo, dell'uso della

calamita per la navigazione. Gli antichi, ai quali era ignota la bussola, non avevano altra guida che il sole o la stella polare; epperò erano costretti di navigare costantemente in vista delle spiagge, ed arrischiavano di smarrirsi quando il cielo era coperto di nubi.

565. **Inclinazione, equatore magnetico.** — Poichè la bussola di declinazione si dirige verso il nord, si potrebbe credere che fosse sollecitata da una forza diretta ad un punto dell'orizzonte. Quest'opinione sarebbe erronea; di fatti, disponendo l'ago in modo che possa muoversi liberamente in un piano verticale, intorno ad un asse orizzontale, si osserva che sebbene il centro di gravità dell'ago coincida esattamente coll'asse di sospensione, il suo polo australe, nei nostri paesi, inclina costantemente verso il polo boreale della terra. Invece, nell'altro emisfero, il polo boreale dell'ago inclina verso il polo australe del globo.

Chiamasi *inclinazione* l'angolo che fa coll'orizzonte l'ago mobile nel piano verticale coincidente col meridiano magnetico; in un piano diverso da questo l'inclinazione aumenta, ed è di 90° in un piano perpendicolare al meridiano magnetico. Di fatti, siccome l'azione magnetica della terra si decompone allora in due forze, una verticale e l'altra orizzontale, la prima fa prendere all'ago la sua posizione verticale, mentre la seconda, agendo nella direzione dell'asse di sospensione, non può far ruotare l'ago.

L'inclinazione, al pari della declinazione, varia colla latitudine, ma secondo una legge meglio determinata. Di fatti si è osservato che esiste un luogo non molto lontano dal polo boreale della terra ove l'inclinazione è assai vicina a 90°, indi, partendo da questo punto, decresce colla latitudine fin verso l'equatore ove è nulla, ora sotto questo medesimo circolo, ora in punti che ne sono poco distanti. Nell'emisfero australe ricompare l'inclinazione, ma in verso contrario, cioè si abbassa al di sotto dell'orizzonte il polo boreale dell'ago.

Si diede il nome di *equatore magnetico* alla curva che passa per tutti i punti in cui l'inclinazione è nulla, e si chiamarono *poli magnetici* i punti ove l'inclinazione è di 90°. Dalle osservazioni di Duperrey risulta che l'equatore magnetico sembra tagliare l'equatore terrestre in due punti, quasi diametralmente opposti, l'uno nel grande Oceano e l'altro nell'Oceano atlantico. Questi punti sem-

brano animati d' un moto di traslazione da oriente verso occidente, e pare inoltre che i poli magnetici siano due, uno situato al nord dell' America settentrionale, l' altro al sud della Nuova Olanda; il primo a 70° 10' di latitudine N. e 100° 40' di longitudine O., ed il secondo a 75° di latitudine S. e 136° di longitudine E.

L'inclinazione varia anche in uno stesso luogo da un epoca ad un'altra. Nel 1671, a Parigi, era di 75°. In appresso andò sempre decrescendo, e l' 11 novembre 1860 era di 66° 11. Dalle osservazioni fatte all' Osservatorio risulta che la diminuzione annua dell' inclinazione è sensibilmente di 3 minuti primi.

Parlando della elettricità faremo conoscere la causa probabile del magnetismo terrestre (694).

566. **Bussola di inclinazione.** — Chiamasi *bussola di inclinazione* uno strumento che serve a misurare l'inclinazione magnetica. Questa bussola, le cui parti, ad ec-

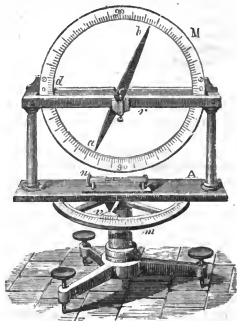



Fig. 416.

cezione dell'ago, sono tutte in ottone, risulta di un cerchio orizzontale *m* graduato, sostenuto da tre viti di livello (fig. 416). Superiormente a questo cerchio trovasi

una piastra A, mobile attorno di un asse verticale e che sostiene, per mezzo di due colonne, un secondo cerchio graduato M, il quale misura la inclinazione; un telajo r sostiene l'ago ab; per mezzo di un livello n e delle tre viti si può disporre orizzontalmente il diametro che passa pei due zeri del cerchio M.

Ciò posto, per osservare l'inclinazione, si incomincia col determinare il meridiano magnetico, il che si ottiene facendo ruotare la piastra A sul cerchio m, fintanto che l'ago si ponga in direzione verticale; la qual direzione esso assume quando si trova in un piano perpendicolare al meridiano magnetico (565). In seguito, ruotando, la piastra A di 90° sul cerchio m, si conduce il cerchio verticale M nel meridiano magnetico. L'angolo *dca*, che fa allora l'ago magnetizzato col diametro orizzontale, è l'angolo di inclinazione.

Però si incontrano qui due cause d'errore: 1.ª può darsi che l'asse magnetico dell'ago non coincida col suo asse di figura, d'onde deriva un errore, che si corregge col metodo del rovesciamento, come si fa per la bussola di declinazione (563); 2.ª può avvenire che il centro di gravità dell'ago non coincida coll'asse di sospensione, ed allora l'angolo *dca* è minore o maggiore della vera inclinazione, a norma che il centro di gravità si trova al di sopra o al disotto del centro di sospensione; perchè, nel primo caso, l'azione della gravità si oppone a quella del magnetismo terrestre per far inclinare l'ago, mentre nel secondo è cospirante. Si corregge siffatto errore invertendo i poli dell'ago, ciò che si ottiene strofinandolo coi poli contrari di due calamite, in modo che sopra ciascun polo dell'ago passi un polo dello stesso nome. Siccome allora l'ago si dispone in verso contrario, così, se il suo centro di gravità era al di sopra del punto di sospensione, ora si trova al di sotto, e l'inclinazione indicata, che prima era minore della vera, ne diventa maggiore. Il suo esatto valore si avrà adunque prendendo la media dei risultati delle osservazioni così effettuate.

567. **Ago e sistemi astatici.** — Chiamasi *ago astatico* quello che trovasi sottratto all'azione magnetica della terra. Tale sarebbe un ago mobile intorno ad un asse situato nel piano del meridiano magnetico, parallelamente all'ago di inclinazione; perchè, siccome la coppia magnetica terrestre agisce allora secondo l'asse, non può imprimere all'ago veruna direzione determinata.

Un *sistema astatico* è quello di due aghi della stessa forza riuniti parallelamente, ed in modo che si trovino rimpetto i poli contrari, come mostra la figura 417. Se i due aghi hanno precisamente la stessa forza, le azioni contrarie del globo sui poli *a'* e *b* e sui poli *a* e *b'* si distruggono, ed il sistema è perfettamente astatico. Nel galvanometro si vedrà una applicazione importante del sistema magnetico astatico.

Fig. 417.

CAPITOLO III.

MAGNETIZZAZIONE E LEGGI DELLE AZIONI MAGNETICHE.

568. **Sorgenti di magnetizzazione, saturazione.** — Le diverse sorgenti di magnetizzazione sono l'influenza delle calamite potenti, il magnetismo terrestre e la elettricità. Quest'ultima sorgente verrà fatta conoscere più innanzi; la magnetizzazione per mezzo delle calamite si può effettuare con tre metodi, cioè quello del contatto semplice, o del contatto separato, o del doppio contatto.

Qualunque di questi tre metodi si prescelga per magnetizzare una spranga d'acciajo, la potenza magnetica che questa può acquistare ha sempre un limite, il quale dipende dal grado della sua tempera e dalla forza delle calamite che si adoperano. Si esprime che questo limite è stato raggiunto, dicendo che la spranga è magnetizzata a *saturazione.* Quando è stato oltrepassato il punto di saturazione, la spranga vi ritorna ben tosto e tende anche a discendere al di sotto di questo punto, se non si conserva la sua forza magnetica per mezzo di armature applicate nel modo che indicheremo quanto prima (573).

569. **Metodo del contatto semplice.** — Il metodo del contatto semplice consiste nel far scorrere il polo di una forte calamita da un capo all'altro della spranga che si vuole magnetizzare, e nel ripetere parecchie volte lo strofinamento, sempre nello stesso verso. Il fluido neutro si trova cosi decomposto successivamente in tutta la lunghezza della spranga, e l'ultima estremità toccata dalla calamita mobile presenta un polo contrario a quello col

quale si opera lo strofinamento. Questo processo non comunica all'acciajo che una debole potenza magnetica, epperò non può essere applicato che a piccole spranghe; inoltre, esso ha l'inconveniente di sviluppare non di rado dei punti conseguenti (550).

570. **Metodo del contatto separato.** — Il metodo del contatto separato, proposto da Knight, in Inghilterra, nel 1745, consiste nel collocare i due poli opposti di due calamite d'egual forza al mezzo della spranga che vuolsi magnetizzare, e nel farli scorrere simultaneamente uno verso un capo della spranga, l'altro verso l'altro, tenendoli in direzione verticale. In seguito si porta di nuovo ciascuna calamita verso il mezzo dalla spranga, e si ripete la stessa operazione. Dopo di avere operato in questo modo parecchie frizioni sulle due faccie della spranga questa è magnetizzata.

Duhamel perfezionò questo metodo collocando le due estremità della spranga, che vuolsi magnetizzare, sui poli contrarii di due calamite fisse, la cui azione cospira con quelle delle calamite mobili che servono ad operare lo strofinamento; al quale effetto la posizione relativa dei poli deve essere quale dimostra la figura 418.

Con questo processo si ottiene la magnetizzazione più regolare.

571. **Metodo del doppio contatto.** — Nel metodo del doppio contatto, dovuto a Mitchell, le due calamite

Fig. 418.

che servono ad operare lo strofinamento sono ancora collocate al mezzo della spranga che vuolsi magnetizzare e coi poli opposti rimpetto l'uno all'altro; ma, invece di farle scorrere in versi contrarii dal mezzo alle estremità della spranga, si tengono ad una distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno interposto (fig. 418) e si fanno scivolare insieme dal mezzo ad una delle estremità indi da questa all'altra e così di seguito, per un egual numero di volte, sopra ciascuna delle due metà della spranga.

Epino, nel 1758, perfezionò questo metodo, collocando, come nel processo del contatto separato, due forti spranghe magnetizzate sotto quella che vuolsi magnetizzare, e tenendo inclinate le calamite mobili sotto un angolo di 15 a 20 gradi colla spranga che si vuole magnetizzare (fig. 418). In tal modo si ottengono delle calamite artificiali di gran forza, ma che presentano spesso dei punti conseguenti.

Facciamo inoltre notare che nei diversi processi di magnetizzazione per mezzo di due calamite, queste non perdono nulla della loro forza, d'onde si deduce che i fluidi magnetici non passano da una spranga all'altra.

572. **Magnetizzazione per mezzo dell'azione della terra.** — Siccome l'azione della terra sulle sostanze magnetiche è comparabile a quella delle calamite, così il magnetismo terrestre tende costantemente a separare i fluidi che trovansi allo stato neutro nel ferro dolce e nell'acciajo. Ma in quest'ultimo corpo la forza coercitiva è assai grande (555), epperò l'azione della terra non è sufficiente a magnetizzarlo. Così non avviene del ferro dolce, specialmente quando se ne collochi una spranga nel meridiano magnetico, parallelamente all'ago di inclinazione. I due fluidi sono allora separati, portandosi il fluido australe verso il nord, ed il fluido boreale verso il sud. Però questa magnetizzazione non è stabile, perchè, invertendo la posizione della spranga, si invertono tosto anche i suoi poli, e ciò prova che la forza coercitiva del ferro dolce è inapprezzabile.

Non pertanto si riesce ad impartire al ferro dolce una certa forza coercitiva assoggettandolo, mentre trovasi sotto l'influenza della terra e nella direzione che abbiamo indicata, ad una forte torsione, o battendolo a freddo col martello. Ma la forza coercitiva così sviluppata è debole e si perde ben presto compiutamente, ciocchè non accade per quella dell'acciajo.

Dalla influenza prolungata del magnetismo terrestre ripetesi appunto la formazione delle calamite naturali e la polarità magnetica di cui trovansi di frequente dòtati i vecchi oggetti di acciajo o di ferro. Le sorta comuni di ferro del commercio non sono pure, e quindi possedono una debole forza coercitiva; epperò presentano quasi sempre delle traccie di polarità magnetica, come si osserva nei chiodi, nelle palette, nelle molle da fuoco, ecc. In generale, la ghisa ha una grande forza coercitiva e si magnetizza assai bene.

573. **Fasci magnetici, armature delle calamite**. — Un *fascio magnetico* è un insieme di spranghe magnetizzate, sovrapposte in modo che i poli dello stesso nome si trovino ad una estremità. Talvolta si dà a questi fasci la forma di ferro di cavallo (fig. 419), e tale altra una forma parallelepipeda (fig. 420). Il fascio rappresentato dalla figura 419 risulta di cinque lamine d'acciaio sovrapposte, quello della figura 420 è composto di 12 lamine disposte in 3 strati, ciascuno di 4 lamine. Quando si voglia far servire la calamita a sostenere un peso, è prefe-

Fig 419 *Fig*. 421.

Fig 420.

ribile la forma a ferro di cavallo, perchè con questa sono simultaneamente utilizzati i due poli. Ambedue queste sorta di fasci constano di lamine temperate e magnetizzate separatamente, indi sovrapposte e riunite per mezzo di viti o di viere.

La forza di un fascio non è eguale alla somma delle forze di ciascuna lamina, e ciò dipendentemente dalle

azioni ripulsive che i poli vicini esercitano fra di loro; si aumenta la forza di una spranga, facendo le lamine laterali di 1 o 2 centimetri più corte della lamina di mezzo (fig. 419 e 420).

Chiamansi *armature* delle calamite i pezzi di ferro dolce che si pongono a contatto coi poli per conservarne od anche aumentarne la potenza magnetica.

La figura 421 rappresenta una calamita naturale fornita di armature; sulle facce corrispondenti ai poli trovansi due lamine di ferro dolce, ognuna delle quali è terminata da un piede massiccio. Sotto l'influenza della calamita naturale, queste lamine si magnetizzano, ed è facile intendere che, rappresentando con A e B i poli della calamita naturale, quelli delle armature si troveranno rispettivamente in *a* e *b*. Ora, queste armature, una volta magnetizzate, reagiscono alla lor volta sul fluido neutro della calamita naturale, lo decompongono ed aumentano per tal modo la potenza magnetica. Senza armature le calamite naturali sono assai deboli; ma quando siano armate

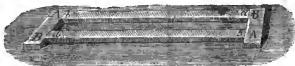



Fig. 422.

diventano capaci di portare dei pesi, i quali si possono aumentare progressivamente sino ad un certo limite, che non è possibile di oltrepassare.

L'*àncora a'b'*, che è di ferro dolce, fa pure l'ufficio di una seconda armatura, perchè, magnetizzandosi per influenza, i suoi poli *a'* e *b'* reagiscono sui poli *a* e *b* della prima.

Per armare le calamite artificiali, si dispongono a paja, come rappresenta la figura 422, collocando rimpetto i poli contrarii, indi si chiude il circuito con due piccole spranghe di ferro dolce AB; e poichè queste ultime si magnetizzano per influenza, i loro poli reagiscono sulle spranghe magnetizzate per conservare la forza magnetica. Quanto agli aghi mobili (fig. 410), siccome si dirigono verso i poli magnetici del globo, così l'influenza di quest'ultimo supplisce in essi all'armatura.

574. Legge delle attrazioni e delle ripulsioni magnetiche — Coulomb, pel primo, constatò la legge che *le attrazioni e le ripulsioni magnetiche si esercitano in ragione inversa del quadrato della distanza*, e la dimostrò con due metodi, quello della bilancia di torsione e quello delle oscillazioni.

1.° *Metodo della bilancia di torsione.* — La bilancia di torsione risulta di una cassa di vetro (fig 423), il coperchio della quale può essere elevato ad arbitrio, ed ha in vicinanza di uno dei lembi un'apertura destinata a permettere il passaggio da una calamita *ab*. Al centro di questo coperchio avvi una seconda apertura, alla quale è adattato un tubo di vetro che può ruotare a sfregamento dolce sui margini della medesima. Alla parte superiore di questo tubo è fissato un *micrometro*. Si dà questo nome ad un

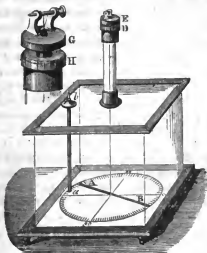



Fig. 423. ($a = 56$).

sistema di due pezzi cilindrici, uno dei quali D, è fisso, e l'altro, E, è mobile; il primo ha il suo contorno diviso in 360°, e sull'altro è segnato un punto c il quale serve ad indicare di quanti gradi lo si fa ruotare sul pezzo graduato D. A sinistra della figura, in G ed H, sono rappresentati più in grande i due pezzi del micrometro. Al disco G sono fissati due montanti attraversati da un asse orizzontale sul quale si avvolge un filo sottilissimo di argento, cui è attaccato un ago magnetizzato AB. Finalmente, sul fondo della cassa avvi una graduazione, che serve a misurare gli spostamenti dell'ago AB, e quindi la torsione del filo d'argento.

Ciò posto, si comincia col far corrispondere il punto c allo zero del pezzo graduato *d*, indi si colloca la cassa in modo che il centro e lo zero della graduazione inferiore si trovino nel meridiano magnetico; si togile allora l'ago AB dal suo cappelletto e vi si sostituisce un ago simile di rame o di qualsiasi altro metallo non magnetico, indi si fa ruotare il tubo di vetro e con esso i pezzi E e D, in maniera che questo ago si fermi allo zero del circolo graduato inferiore. Prima di collocare al suo posto l'ago magnetiz-

vato *ba*, si toglie l'ago non magnetico, che trovasi sul cappelletto, e si rimette l'ago magnetizzato AB; quest'ultimo trovasi allora precisamente nel meridiano magnetico, e la torsione del filo d'argento è nulla.

Trovandosi così disposto l'apparato, prima di introdurvi l'ago *ab*, è necessario conoscere quale azione eserciti la terra sull'ago mobile AB, allorquando quest'ultimo è deviato dal meridiano magnetico di un certo numero di gradi. Perciò si fa ruotare il pezzo E fintanto che l'ago AB si sposti di un grado nello stesso verso. Il numero di gradi, meno uno, di cui si fece ruotare il micrometro, rappresenta evidentemente la torsione totale del filo. Questo numero varia colla lunghezza, col diametro del filo e colla intensità della spranga AB. Ammettiamo che questo numero sia 35, come negli esperimenti di Coulomb Siccome l'ago rimane in equilibrio, è evidente che la forza di torsione del filo è precisamente eguale e contraria all'azione direttrice della terra. Quindi, per una deviazione di 1°, questa azione viene rappresentata da 35; ma siccome la forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione (702.ª) e l'azione direttrice della terra, quando sia stabilito l'equilibrio, le è eguale, ne risulta che quest'ultima forza, per deviazioni di 2°, 3°... è rappresentata da 2 volte, da 3 volte .. 35°.

Determinata l'azione della terra, si fa entrare nella cassa la calamita *ab*, usando l'avvertenza di situare rimpetto i poli dello stesso nome. Il polo A dell'ago mobile è respinto, e se si rappresenta con N il numero di gradi, che misura l'angolo di deviazione, quando l'ago AB è in equilibrio, la forza colla quale quest'ago tende a ritornare verso il meridiano magnetico sarà rappresentata dalla somma $N + 35 \times N$, perchè la parte N è dovuta alla torsione del filo, e la parte 35 N all'azione della terra; e siccome esso non vi ritorna, bisogna che anche la forza ripulsiva la quale si esercita fra i poli *a* ed A sia eguale ad $N + 35 \times N$. Ciò posto, si gira il disco E in modo che l'angolo di deviazione diventi la metà di N. A questo intento se l'ago AB si trovasse nella posizione indicata dalla figura, bisognerebbe girare il disco E da destra a sinistra Rappresentando con n lo spostamento del disco E, si vede che il filo di sospensione è contorto alla sua estremità superiore di n gradi a sinistra, ed alla sua estremità inferiore di $\frac{N}{2}$ gradi a destra, in modo che la sua torsione totale è $n + \frac{N}{2}$. Quindi la forza reale che tende a ricondurre l'ago verso il meridiano magnetico è $\left(n + \frac{N}{2}\right) + 35 \times \frac{N}{2}$, dove la parte $n + \frac{N}{2}$ rappresenta la forza di torsione, e la parte $35 \times \frac{N}{2}$ l'azione della terra. Ora, siccome l'ago non ritorna verso il meridiano, bisogna che la forza ripulsiva, la quale si esercita fra i due poli *a* ed A, sia pur essa rappresentata da

$$\left(n + \frac{N}{2}\right) + 35 \times \frac{N}{2}$$

Ciò posto, facendo i calcoli, cioè sostituendo ad n e ad N i numeri forniti dall'esperimento, si trova che la quantità $\left(n+\frac{N}{2}\right)+35\times\frac{N}{2}$ è precisamente quadrupla della quantità $N+35\times N$, ottenuta nel primo esperimento; quindi è dimostrata la legge di Coulomb, poichè si fa l'esperimento con archi N ed $\frac{N}{2}$ piccoli in modo che si confondano sensibilmente colle loro corde, cioè tali che quando l'arco diventa la metà, anche la distanza aA dei due poli si riduca sensibilmente alla metà.

2.º *Metodo delle oscillazioni.* — Questo metodo consiste nel far oscillare per tempi eguali un ago magnetizzato, dapprima sotto la sola influenza della terra, indi sotto l'influenza combinata della terra e del polo attraente di una calamita collocata successivamente a due distanze diverse. Dai tre numeri delle oscillazioni osservate si deduce poi per mezzo del calcolo la legge di Coulomb.

575. Intensita' del magnetismo terrestre. — Molti fisici e navigatori si sono occupati nel misurare l'intensità magnetica del globo in differenti luoghi ed in epoche diverse. Furono a quest'uopo adottati parecchi metodi, i quali si riducono a far oscillare un ago d'inclinazione o di declinazione per un dato tempo, ed a dedurre dai numeri delle oscillazioni la misura della intensità relativa. Le osservazioni condussero alle seguenti leggi:

1.ª L'intensità del magnetismo terrestre aumenta colla distanza dall'equatore magnetico, e sembra essere una volta e mezza più grande ai poli che all'equatore; la linea senza inclinazione è quindi nello stesso tempo la linea di minore intensità.

2.ª L'intensità magnetica del globo decresce coll'aumentare della distanza dalla superficie del suolo, e questo decremento segue probabilmente la legge del rapporto del quadrato delle distanze.

3.ª L'intensità magnetica della terra varia colle ore del giorno; giunge al suo minimo fra le dieci e le undici ore del mattino, ed al suo massimo fra quattro o cinque ore dopo mezzogiorno.

4.ª L'intensità magnetica presenta delle variazioni irregolari, ed al pari della declinazione e della inclinazione subisce delle perturbazioni accidentali sotto l'influenza delle aurore polari.

Chiamansi *linee isodinamiche* certe linee sulla superficie del globo, le quali presentano in tutti i loro punti la stessa intensità magnetica; *linee isogone*, quelle che presentano dappertutto la stessa declinazione, e linee *isocline* quelle di eguale inclicazione. Duperrey costrusse nove curve isodinamiche al nord ed altrettante al sud dell'equatore magnetico, e trovò che queste linee, per la loro curva e direzione, hanno una grande analogia colle linee *isoterme*, cioè di eguale temperatura. Del resto tutte queste curve non sono finora conosciute che imperfettamente.

LIBRO XIX.

ELETTRICITA' STATICA.

CAPITOLO I.

PRINCIPII FONDAMENTALI.

576. **Elettricità, ipotesi sulla sua natura.** — L'*elettricità* (*) è un agente fisico potente, la cui presenza si manifesta mediante attrazioni e ripulsioni, apparenze luminose, scosse violente, decomposizioni chimiche e molti altri fenomeni. Le cause che sviluppano l'elettricità sono lo strofinamento, la pressione, le azioni chimiche, il calore, il magnetismo e la stessa elettricità.

Il filosofo Talete, 600 anni innanzi l'era volgare, aveva già fatta conoscere la proprietà che l'ambra gialla strofinata ha di attrarre i corpi leggieri. Parlando di questa sostanza, Plinio dice: « Quando lo strofinamento le ha dato il calore e la vita, essa attrae i minuzzoli di paglia come la calamita attrae il ferro. » Ma a questo fenomeno si limitarono le cognizioni degli antichi relativamente alla elettricità. Soltanto alla fine del secolo XVI, Gilbert medico della regina Elisabetta, a Londra, richiamò di nuovo l'attenzione dei fisici sulle proprietà dell'ambra gialla, facendo conoscere che anche molte altre sostanze, mediante lo strofinamento, possono acquistare la proprietà

(*) La parola *elettricità* viene dal greco ἔλεκτρον, che significa *succino*, perchè in questa sostanza venne per la prima volta osservata la facoltà di sviluppare elettricità per strofinamento. L'ambra gialla, che è una sostanza resinosa allo stato fossile, ha molta analogia colla resina *copale*. Si trova principalmente sulle rive del Baltico, dove è gettata dai flutti, ed anche sulle coste della Sicilia.

attrattiva. Dato una volta il primo impulso, le scoperte si succedettero le une alle altre tanto numerose quanto rapide. Gli scienziati, che, dopo Gilbert, contribuirono maggiormente ai progressi della elettricità sono: Ottone di Guericke, Dufay, Epino, Franklin, Coulomb, Volta, Davy, Œrsted, Ampère, Schweigger, Seebek, De la Rive, Faraday e Becquerel. A questo ultimo devesi quasi tutta la elettro-chimica.

Sebbene l'elettricità sia stata l'oggetto di numerosi lavori, non se ne conosce punto l'origine e la natura; epperò, come per il calorico, la luce ed il magnetismo, i fisici si limitarono a delle ipotesi. Newton opinava che la produzione della elettricità fosse il risultato di un principio etereo messo in movimento dalle vibrazioni delle particelle dei corpi. L'abate Nollet, fondandosi sugli effetti luminosi e calorifici della elettricità, la considerava siccome una modificazione particolare del calorico e della luce. Più innanzi (583) faremo conoscere la teoria di Symmer, nella quale viene ammessa l'esistenza di due fluidi elettrici, e quella di Franklin nella quale se ne ammette uno solo.

577. **Elettricità statica ed elettricità dinamica.** — Fatta astrazione da qualsiasi ipotesi, lo studio della elettricità si divide in due grandi sezioni, una delle quali comprende i fenomeni presentati dalla *elettricità statica*, ossia in equilibrio, e l'altra quelli della *elettricità dinamica* od in movimento. L'elettricità statica è specialmente prodotta dallo strofinamento; essa si accumula allora alla superficie dei corpi e vi si conserva in equilibrio ad uno stato di *tensione*, che si manifesta per mezzo di attrazioni, di ripulsioni e di scintille. L'elettricità dinamica risulta specialmente da azioni chimiche ed attraversa i corpi in forma di *corrente* con una velocità comparabile a quella della luce. L'elettricità dinamica si distingue dalla elettricità statica segnatamente pei fenomeni chimici che può produrre e pe' suoi rapporti col magnetismo.

Noi tratteremo dapprima della elettricità statica, considerando più particolarmente quella che si sviluppa collo strofinamento; e chiameremo *elettrizzato* un corpo che per questo mezzo abbia acquistato la proprietà di attrarre i corpi leggieri, o di produrre effetti luminosi.

578. **Sviluppo della elettricità collo strofinamento.** — Un grande numero di sostanze, strofinate

con un pannilano o con una pelle di gatto, acquistano immediatamente la proprietà di attrarre i corpi leggeri, come le barbe di penna ed i pezzetti di paglia. Questa proprietà si riconosce principalmente nell'ambra gialla, nella ceralacca, nel vetro, nella seta, nelle resine, nel solfo ed in parecchie altre sostanze.

Un corpo solido può essere elettrizzato anche per mezzo dello strofinamento o con un liquido o con un gas; nel vuoto barometrico il movimento del mercurio elettrizza il vetro; un tubo vuoto d'aria, nel quale siansi imprigionati alcuni globetti di mercurio, diventa luminoso nell'oscurità quando venga agitato. Rispetto ai gas, Wilson aveva osservato che una corrente d'aria elettrizza positivamente la tormalina, il vetro, la resina su cui venga rivolta; ma Faraday riconobbe dappoi che non avvi effetto elettrico se non quando l'aria è umida o tiene in sospensione delle polveri asciutte.

Lo strofinamento non sembra in sulle prime sviluppare elettricità sopra parecchie sostanze, e principalmente

Fig. 424. *Fig.* 425.

sui metalli; perchè, strofinando con un pannilano una spranga di metallo tenuta fra le mani, non si ha verun segno di attrazione, quando la si presenti al pendolo elettrico (579). Non bisognerebbe conchiuderne che i me-

talli non si elettrizzano per lo strofinamento; è questa una proprietà generale di tutti i corpi, ma che non si manifesta per molti di essi, siccome vedremo al paragrafo 581, se non quando siano collocati in opportune condizioni.

Si ignora la causa dello sviluppo dell'elettricità prodotta dallo strofinamento. Wollaston la attribuì ad una ossidazione, ma Gray aveva già dimostrato che lo strofinamento sviluppa della elettricità nel vuoto, e Gay-Lussac riconobbe che se ne può sviluppare anche nel gas acido carbonico asciutto.

579. **Pendolo elettrico.** — Si riconosce che un corpo è elettrizzato per mezzo di piccoli strumenti che chiamansi *elettroscopii*, e dei quali il più semplice è il *pendolo elettrico* (fig. 424). Questo apparato consiste in una piccola palla di midollo di sambuco sospesa per un filo di seta ad un sostegno avente la base di vetro. Avvicinandole un corpo elettrizzato, la piccola palla è dapprima attratta, (fig. 424), indi, appena avvenuto il contatto, è respinta (fig. 425).

580. **Corpi conduttori e corpi non conduttori.** — Avvicinando al pendolo elettrico una bacchetta di ceralacca strofinata ad una estremità, si osserva che essa ne attrae la piccola palla soltanto colla estremità stata strofinata; l'altro estremo non dà alcun segno nè di attrazione nè di ripulsione. Lo stesso accade con un tubo di vetro od una canna di solfo quando non siano stati strofinati in tutta la loro lunghezza; onde si conchiude, che in questi corpi la proprietà elettrica non si propaga da una parte all'altra, il che si esprime dicendo che non *conducono* la elettricità. Invece, l'esperienza dimostra che la proprietà elettrica acquistata da un corpo metallico sopra una delle sue parti, si propaga istantaneamente su tutta la superficie del medesimo, qualunque ne sia la estensione, cioè che i metalli *conducono* bene la elettricità.

Da ciò proviene la distinzione di corpi *buoni conduttori* e di corpi *cattivi conduttori*. I migliori conduttori sono i metalli, l'antracite, la piombaggine, il coke, il carbone di legna che sia stato fortemente riscaldato, le piriti, la galena, indi le soluzioni saline, la cui facoltà conduttrice è di parecchie migliaia di volte minore di quella dei metalli, l'acqua allo stato di vapore e allo stato liquido, il corpo umano, i vegetabili e tutti i corpi umidi. Sono corpi

cattivi conduttori il solfo, le resine, la gomma lacca, la seta, il vetro, le pietre preziose, il carbone che non sia stato portato ad elevatissima temperatura, gli olii ed i gas asciutti; ma l'aria e i gas in genere sono tanto meno isolanti (581) quanto più sono umidi. Del resto, il grado di conducibilità dei corpi non dipende solamente dalla sostanza di cui sono formati, ma anche dalla loro temperatura e dal loro stato fisico. Così, per esempio, il vetro, che è cattivissimo conduttore alla temperatura ordinaria, conduce bene quando è portato al calore rosso. Parimenti, la gomma lacca e il solfo scaldati perdono in parte la proprietà di isolare. L'acqua, che, allo stato liquido, è buon conduttore, ridotta in ghiaccio diventa cattivo conduttore.

581. **Corpi isolanti, serbatojo comune.** — I corpi cattivi conduttori ricevettero il nome di *corpi isolanti* o di *isolatori*, perchè si adoperano come sostegni quando si tratti di conservare in un corpo conduttore la elettricita di cui trovisi caricato. Questa condizione è indispensabile, perchè, essendo la terra costituita di sostanze che conducono la elettricità, appena che un corpo conduttore elettrizzato comunica con essa per mezzo di un altro corpo conduttore, l'elettricità si disperde immediatamente nel suolo, il quale chiamasi perciò *serbatojo comune*. Si isola un corpo appoggiandolo sopra lastre o piedi di vetro, o sospendendolo a cordoni di seta, o collocandolo sopra dischi di sostanze resinose. Però i più cattivi conduttori non isolano mai compiutamente, onde

Fig. 426. ($l = 50$).

risulta che qualsiasi corpo elettrizzato perde sempre più o meno lentamente la sua elettricità a traverso dei sostegni sui quali appoggia; ne perde inoltre per mezzo del vapore acqueo che trovasi nell'aria, e questa perdita supera d'ordinario la prima.

Sui metalli non si può ottenere elettricità per mezzo dello strofinamento, quando si tengano in mano, a motivo della loro grande conduttività; quando però si usi l'avvertenza di isolarli e di strofinarli con un corpo non conduttore, come la seta od il drappo inglese coperto di cera, si elettrizzano benissimo collo strofinamento. Per

dimostrarlo, si fissa un tubo di ottone ad un manico di vetro (fig. 426), e, tenendo quest'ultimo in mano, si strofina il tubo metallico con un pezzo di stoffa di seta o di drappo inglese coperto di cera, ed avvicinandolo poi al pendolo elettrico si osserva una attrazione, la quale dimostra che il metallo è elettrizzato. Se il metallo fosse direttamente tenuto in mano, l'elettricità si produrrebbe istessamente, ma si disperderebbe all'istante nel suolo.

Anticamente si chiamavano *idio-elettrici* (atti all'elettrico) i corpi isolatori, perchè si credeva che questi soli fossero dotati della proprietà di elettrizzarsi per mezzo dello strofinamento, e i corpi buoni conduttori erano denominati *anelettrici* (privi di elettricità). Oggidì, poichè si sa che tutti i corpi sono elettrizzabili per istrofinio, queste denominazioni sono andate in disuso.

582. **Distinzione di due specie di elettricità.** — Abbiamo veduto (579) che, quando si presenta al pendolo elettrico un tubo di vetro strofinato con un pezzo di pannilano, succede dapprima attrazione, indi, appena compiutosi il contatto, ripulsione. Siccome si producono gli stessi effetti con una bacchetta di ceralacca strofinata nell'indentica maniera, da questi due esperimenti sembra a primo aspetto risultare che l'elettricità sviluppata sul vetro sia identica a quella che si sviluppa sulla resina; ma ulteriori indagini ci dimostrano il contrario. Di fatti, se, dopo avere elettrizzati nel modo che abbiamo detto il tubo di vetro e la bacchetta di ceralacca, al pendolo elettrico respinto dal vetro si avvicina la resina, quest'ultima attrae vivamente la palla di sambuco; parimenti, se al pendolo respinto dalla resina, dopo che avvenne il contatto, si presenta il tubo di vetro, si osserva una forte attrazione; cioè si riconosce che *un corpo respinto dalla elettricità del vetro è attratto dalla elettricità della resina*, e reciprocamente che *un corpo respinto dalla elettricità della resina è attratto da quella del vetro.*

Fondandosi sui fatti, che ora abbiamo accennati, Dufay, fisico francese, ammise pel primo, nel 1734, l'esistenza di due elettricità di diversa natura: l'una, che si sviluppa sul vetro strofinato colla lana, l'altra che si sviluppa su di una resina o sulla cera di Spagna strofinate con un pezzo di pannilano o con una pelle di gatto; la prima ricevette il nome di *elettricità vitrea*, la seconda quello di *elettricità resinosa*.

583. **Teorie di Symmer e di Franklin.** — Per

ispiegare gli effetti contrarii presentati dalla elettricità allo stato di elettricità vitrea ed a quello di elettricità resinosa, Symmer, fisico inglese, ammise due *fluidi* elettrici, ciascuno dei quali agisce per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sull'altro. Secondo questo fisico, i due fluidi esistono allo stato di combinazione in tutti i corpi, formando ciò che dicesi il *fluido neutro* od il *fluido naturale*. Differenti cause, tra le quali sopratutto lo strofinamento e le azioni chimiche, possono separarli, ed allora si manifestano i fenomeni elettrici; ma questi fluidi hanno una grande tendenza a riunirsi per riprodurre di nuovo del fluido neutro.

I due fluidi elettrici si distinguono coi nomi di *fluido vitreo* e di *fluido resinoso*. Vengono anche chiamati *fluido positivo* e *fluido negativo*, espressioni tolte dalla teoria di Franklin. Questo fisico, il quale non ammetteva che un solo fluido agente per ripulsione sulle proprie molecole e per attrazione su quelle della materia, supponeva che tutti i corpi contengano una quantità determinata di questo fluido allo stato latente: quando essa cresce, i corpi sono elettrizzati *positivamente* e possedono le proprietà della elettricità vitrea: quando diminuisce, i corpi sono elettrizzati *negativamente* e presentano le proprietà della elettricità resinosa. Le denominazioni di *elettricità positiva* o di *fluido positivo* equivalgono quindi a quella di *elettricità vitrea*, e le denominazioni di *elettricità negativa* o di *fluido negativo* a quella di *elettricità resinosa*. L'elettricità positiva si contrassegna talvolta col simbolo + (*più*), e la elettricità negativa col — (*meno*). Siccome in algebra aggiungendo $+a$ a $-a$ si ha zero, così, dando ad un corpo, che possiede già una certa quantità di elettricità positiva, una eguale quantità di elettricità negativa, si ottiene lo stato neutro.

La teoria di Symmer sui due fluidi elettrici si presta a dare una spiegazione molto semplice dei fenomeni; epperò è ammessa generalmente, almeno in Francia, nelle scuole, quantunque non sia che una ipotesi. D'altronde, non bisogna disconoscere quanto abbia di vago questa denominazione di *fluido* applicata alle cause del calorico, della luce, del magnetismo e della elettricità. Di fatti, che cos'è un tal fluido? quale ne è la natura? nessun fisico diede schiarimenti a questo soggetto. Bisogna dunque limitarsi a considerare l'ipotesi dei due fluidi elettrici siccome esprimente due stati nei quali la elettricità si pre-

senta siccome produttrice degli effetti di due forze eguali e contrarie tendenti ad equilibrarsi fra loro. « È probabile, dice De La Rive nel suo esteso Trattato di elettricità, che l'elettricità invece di consistere in uno o due fluidi speciali, non sia che il risultato di una modificazione particolare nello stato dei corpi, cagionata forse dalla vicendevole azione che le loro particelle ponderabili esercitano l'una sull'altra e su quel fluido sottile che le circonda per ogni verso, al quale si dà il nome di etere e le cui ondulazioni costituiscono la luce e il calorico. » Più oltre lo stesso fisico aggiunge: « Tutti i fenomeni di elettricità positiva e negativa possono probabilmente venire spiegati colla azione e reazione di una forza, che può essere manifestata in diverso grado da differenti sostanze, e questa spiegazione è più semplice di quella dei fluidi imponderabili. Le due forze elettriche opposte somigliano infatti alla azione e reazione in ciò che l'una è sempre accompagnata dall'altra. »

584. **Azione vicendevole dei corpi elettrizzati.** — Ammessa l'ipotesi delle due specie di elettricità, gli effetti di attrazione e di ripulsione offerti dai corpi elettrizzati (582) si riassumono nell'enunciazione del principio seguente, il quale serve di base alla teoria di tutti i fenomeni che ci presenta l'elettricità statica:

Due corpi carichi della stessa elettricità si respingono, e due corpi carichi di elettricità contrarie si attraggono; ma queste attrazioni e ripulsioni avvengono solo per azione reciproca delle due elettricità, non per una azione di esse sulle molecole materiali.

585. **Legge della elettrizzazione per strofinamento.** — Quando si strofinano insieme due corpi di natura qualunque, il fluido neutro di ciascuno di essi è decomposto, e costantemente l'*uno dei corpi prende il fluido positivo e l'altro il fluido negativo.*

Per dimostrarlo, si comunica al pendolo elettrico una elettricità conosciuta, indi gli si presentano separatamente i due corpi strofinati, i quali, nel caso che siano conduttori, devono essere isolati. Si adoperano, per esempio, due dischi, l'uno di vetro smerigliato l'altro di metallo o di legno coperto da una rotella di seta (fig. 427). Tenendo ciascuno di questi dischi per un manico di vetro isolatore a cui essi sono fissati, si strofinano fortemente l'uno contro l'altro, indi si separano rapidamente; ora l'uno di essi attrae la palla di sambuco e l'altro la respinge, il

che dimostra che sono carichi di elettricità contrarie. Inoltre essi sono carichi di quantità eguali di elettricità, perchè, presentati al pendolo mentre trovansi a contatto, non producono nè attrazione nè ripulsione, d'onde si deduce che le due elettricità si fanno equilibrio.

L'elettricità sviluppata su di un corpo, per mezzo dello strofinamento, varia colla natura del corpo strofinato. Il vetro liscio, strofinato colla lana, si elettrizza positivamente;

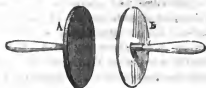



Fig. 427.

il vetro smerigliato, strofinato colla stessa sostanza, si elettrizza negativamente. La specie di elettricità sviluppata dipende anche dalla natura del corpo strofinante. Ciascuna delle sostanze, che ora indicheremo, si elettrizza positivamente quando sia strofinata da quelle che la seguono, e negativamente quando venga strofinata da quelle che la precedono: pelle di gatto, vetro liscio, lana, piuma, legno, carta, seta, gomma lacca, vetro smerigliato.

La specie di elettricità sviluppata dallo strofinamento dipende anche dal grado di levigatezza, dalla direzione secondo la quale si effettua lo strofinamento e dalla temperatura. Di fatti, strofinando l'uno contro l'altro due piatti di vetro di diversa levigatezza, si riconosce che quello il quale ha la superficie più liscia acquista l'elettricità positiva, e che l'altro si elettrizza negativamente; strofinando in croce l'uno sull'altro due nastri bianchi di seta, tolti da uno stesso pezzo, si osserva che assume l'elettricità negativa quello che è strofinato trasversalmente, e l'altro la positiva. Strofinando l'uno contro l'altro due corpi di una stessa sostanza, le cui superficie abbiano lo stesso grado di levigatezza, ma le cui temperature siano differenti, la sostanza più calda acquista il fluido negativo. In generale, si elettrizza negativamente il corpo le cui particelle possono spostarsi più facilmente.

586. **Altre sorgenti di elettricità.** — Oltre lo strofinio altre cause possono svolgere l'elettricità, e sono la pressione, il clivaggio, le azioni chimiche e il calorico.

Epino, per il primo, constatò che si sviluppa elettricità per mezzo della pressione; in seguito Libes dimostrò che premendo leggiermente sopra un disco di legno coperto di drappo inglese gommato un disco di metallo, isolato per mezzo di un manico di vetro, questo disco si elettrizza negativamente. Haüy fece in appresso conoscere che lo spato di Islanda si elettrizza positivamente quando venga per un istante compresso fra le dita, e che conserva lo stato elettrico pel corso di parecchi giorni. Riconobbe anche la stessa proprietà in parecchie altre specie di minerali; ma Becquerel trovò che la possedono tutti i corpi, anche conduttori, purchè però si trovino isolati. Comprimendo l'uno contro l'altro il sughero e la gomma elastica, si trova che il primo assume l'elettricità positiva e la seconda l'elettricità negativa. Un disco di sughero, compresso contro di una melarancia, porta con sè una quantità considerabile di fluido positivo, quando si interrompa rapidamente il contatto; ma, interrompendolo con lentezza, il disco di sughero rimane assai debolmente elettrizzato, perchè i due fluidi, separati sui due corpi per mezzo della pressione, si ricompongono in parte all'istante in cui questa pressione cessa. Per lo stesso motivo l'effetto è nullo quando ambedue le sostanze che si comprimono fra loro siano conduttrici della elettricità.

Bequerel osservò inoltre che il *clivaggio*, cioè la divisione, in certe determinate direzioni, delle sostanze minerali cristallizzate, può essere una sorgente di elettricità. Clivando rapidamente, nell'oscurità, una lamina di mica, si osserva una debole fosforescenza. Per assicurarsi che il fenomeno è cagionato dalla elettricità, Bequerel fissò, prima di eseguire il clivaggio, ciascuna delle laminette ad un manico di vetro; separandole poi rapidamente e presentandole al pendolo elettrico o ad un elettroscopio a foglie d'oro (588), trovò che possedono elettricità contrarie.

Il talco lamellare e tutte le sostanze cristallizzate poco conduttrici si elettrizzano anch'esse col clivaggio. In generale, ogni volta che si separano due molecole, ciascuna di esse assume una delle due elettricità, tranne il caso in cui il corpo, cui esse appartengono, sia buon conduttore, perchè allora la ricomposizione delle due elettricità si effettua durante la stessa separazione delle molecole. La luce che diffonde lo zuccaro quando venga spezzato

nella oscurità deve essere riferita al fenomeno, che ora abbiamo descritto.

Più innanzi studieremo lo svolgimento di elettricità per mezzo delle azioni chimiche o del calorico.

CAPITOLO II.

MISURA DELLE FORZE ELETTRICHE.

587. **Leggi delle attrazioni e delle ripulsioni elettriche.** — Le mutue azioni che si esercitano fra i corpi elettrizzati sono sottoposte alle due leggi seguenti:

1.ª *Le ripulsioni e le attrazioni fra due corpi elettrizzati sono in ragione inversa del quadrato della distanza;*

2.ª *Le forze elettriche sono in ragione diretta delle quantità di elettricità possedute dai due corpi.*

Prima legge. — Queste due leggi sono state dimostrate da Coulomb, per mezzo della bilancia di torsione già adoperata per la dimostrazione delle leggi delle attrazioni e delle ripulsioni magnetiche (574). La sola modificazione, che in questo caso bisogna fare alla bilancia di Coulomb, è di sostituire all'ago magnetizzato sospeso al filo metallico un cilindretto di gomma lacca, terminato da un piccolo disco di talco *n* (fig. 428), ed all'ago magnetizzato verticale un tubo di vetro *i*, terminato da una sfera di ottone *m*. La figura 428 presenta anche alcune altre modificazioni relativamente alla figura 423, le quali però sono arbitrarie: la cassa non è parallelepipeda ma cilindrica; la graduazione trovasi sul contorno della cassa in luogo d'essere segnata sul fondo della medesima; finalmente, il micrometro risulta di un piccolo disco graduato *e*, mobile indipendentemente dal tubo *d*, e di un indice fisso *a* che serve a far conoscere di quanti gradi si faccia ruotare il disco *e*. Al centro di quest'ultimo avvi un piccolo bottone che gira con esso, ed il cui piede stringe l'estremità del filo metallico, che porta la bacchetta *on*.

Ciò posto, per dimostrare la prima legge sopra enunciata, si incomincia col far essiccare l'aria che si trova nell'apparato, allo scopo di scemare la dispersione dell'elettricità; il che si ottiene tenendo sotto la cassa, per parecchi giorni, una capsula piena di calce viva. Quando

l'aria è compiutamente essiccata e lo zero del micrometro corrisponde all'indice *a*, si gira il tubo *d*, che è mobile, fino a tanto che la bacchetta *on* si diriga verso lo zero del cerchio graduato *c*, posizione alla quale corrisponde la sfera *m* quando si trova entro la cassa. Si ritira allora questa sfera, usando l'avvertenza di tenerla per mezzo del tubo isolante *i*, indi la si elettrizza ponendola a contatto con una sorgente di elettricità, per esempio, colla macchina elettrica, e successivamente la si introduce di nuovo nella cassa a traverso della apertura *r* praticata nel disco, che ricopre quest' ultima. All' istante il disco *n* è attratto, indi, elettrizzandosi a contatto della sfera, è respinto ed in seguito ad alcune oscillazioni si ferma quando la torsione del filo fa equilibrio alla forza ripulsiva, che si esercita tra il disco e la sfera. Suppongasi che la torsione segnata allora dalla bacchetta sull'arco graduato *e* sia di 20°; essendo la torsione del filo proporzionale alla forza di torsione (70, 2°), questo numero 20 può essere considerato come misura della ripulsione elettrica alla distanza a cui trovasi la bacchetta. Per misurare questa forza ad una distanza minore, si gira il disco *e* nel verso della freccia, fintanto che la distanza del talco *n* dalla sfera *m* riducasi a 10°, cioè alla metà. Ora, per condurre l'ago a questo punto, si trova che bisogna far ruotare di 70°. Il filo metallico è dunque in uno stato di torsione, alla sua estremità superiore, di 70° nel verso della freccia e di 10° in verso contrario alla sua parte inferiore. Quindi le due torsioni si sommano per dare una torsione totale di 80°, cioè quadrupla di quella che corrisponde ad una distanza doppia; del resto, essendo la forza di torsione eguale e contraria alla ripulsione, bisogna che quest'ultima sia pure diventata quadrupla, mentre la distanza è ridotta alla metà. Si verifica del pari come, riducendo la distanza ad un terzo, la ripulsione sia

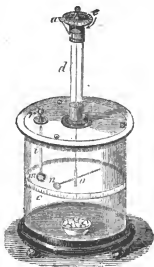



Fig. 428. ($a = 58$).

nove volte più grande, il che dimostra la legge delle ripulsioni.

La legge delle attrazioni può essere dimostrata collo stesso metodo, ma bisogna comunicare elettricità contrarie alla sfera ed al disco, ed equilibrare la loro attrazione con una sufficiente torsione del filo.

Seconda legge. — Per dimostrare che le forze elettriche sono proporzionali alle quantità di elettricità, che i corpi possedono, si elettrizza ancora la sfera di ottone *m*, indi, notando la ripulsione impressa alla bacchetta *on*, si ritira la sfera *m* e la si tocca con una seconda sfera di ottone dello stesso diametro, allo stato neutro ed isolata con un manico di vetro. La sfera *m* cede allora la metà della sua elettricità all'altra sfera, poichè le superficie delle due sfere sono eguali (591). Ora, rimettendo la prima nella cassa, si trova che la ripulsione è soltanto la metà della primitiva. Sottraendo di nuovo alla sfera *m* la metà della elettricità che le rimane, la ripulsione non è più che il quarto della primitiva, e così di seguito, il che dimostra la legge.

In questi esperimenti prendesi per l'intervallo dei corpi elettrizzati l'arco che misura la torsione, cioè si prendono gli archi per le loro corde; epperò la misura delle distanze non è che approssimativa, ma l'errore non influisce sensibilmente sui risultati, avendosi cura di prender gli archi abbastanza piccoli perchè si possa sostituirli alle loro corde (*).

(*) Harris, in Inghilterra, istituì già da parecchi anni numerose esperienze per verificare le leggi di Coulomb. L'apparato di cui egli fece uso, sebbene analogo alla bilancia di Coulomb, ne differisce in ciò che l'ago mobile, invece di essere sospeso ad un solo filo, è sostenuto, come nel *magnetometro* di Gauss, da due fili semplici di seta paralleli, vicinissimi l'uno all'altro ed equidistanti dal centro di gravità dell'ago; questo apparato si denomina perciò *bilancia bifilare*. Stante il modo particolare di sospensione, quando l'indice mobile è respinto o attratto, i due fili non possono più conservarsi verticali e si inclinano più o meno secondo l'intensità della forza che opera sull'indice; questo allora si solleva sino a che siavi equilibrio tra la gravità che tende ad abbassarlo e la forza elettrica che tende a farlo salire, per effetto della deviazione dei fili. Ora, Harris ha dimostrato che le oscillazioni dell'indice sono in tal caso isocrone, e che la forza atta a mantenerlo ad una certa distanza angolare dalla sua posizione di equilibrio è proporzionale a questa stessa distanza.

Harris esperimentò anche con una bilancia semplice ordinaria, assai sen-

588. L'elettricità si reca alla superficie dei corpi. — Quando un corpo isolato, di forma qualunque, è elettrizzato sia positivamente, sia negativamente, il fluido elettrico si reca alla sua superficie, ove forma uno strato estremamente sottile. Questa accumulazione dell'elettricità alla superficie dei corpi è stata dimostrata da Coulomb per mezzo dei due esperimenti che seguono:

Fig. 429. ($a = 40$).

1.° Si prende una sfera cava di ottone isolata su di un piede di vetro, e nella cui parte superiore è praticata una apertura circolare (fig. 429). Dopo di averla elettrizzata, ponendola a contatto con una sorgente elettrica, la si tocca successivamente all'interno e all'esterno con un *piano di prova*. Si dà questo nome ad un piccolo disco metallico, fissato all'estremità di una bacchetta di gomma lacca, il quale serve a raccogliere le elettricità. Ora,

sibile, equilibrando, con pesi posti sopra uno dei piattelli, le attrazioni elettriche esercitate sopra un disco fissato all'altro piattello.

Sperimentando con questi due apparati, Harris trovò che la prima delle leggi di Coulomb, relativa all'influenza della distanza, non si verifica più quando i due corpi sono carichi di diseguali quantità di elettricità, come pure quando la tensione elettrica è debolissima, e, finalmente, quando la distanza angolare dei due corpi è minore di 9 o 10 gradi. Nelle stesse circostanze non si verifica nemmeno la seconda legge, relativa alla quantità di elettricità.

De La Rive nel suo trattato di elettricità osserva che queste eccezioni alle leggi di Coulomb sono soltanto apparenti, dipendendo esse dalla influenza mutua che esercitano tra loro i corpi elettrizzati, per la quale questi tendono a decomporre il fluido neutro (583), e che non è più apprezzabile quando i corpi sono alquanto distanti l'uno dall'altro; finalmente, che le leggi di Coulomb sono applicabili rigorosamente soltanto a punti matematici e perciò si possono verificare solamente per corpi di piccolissime dimensioni.

Tutto ciò venne confermato dalle esperienze di Marié Davy, il quale, avendo ripetute le prove fatte da Harris, riconobbe che la legge delle distanze si trova verificata con molta approssimazione per due sfere eguali distanti più di 9 o 10 volte il loro raggio.

quando si tocca internamente col piano di prova la sfera elettrizzata, non si raccoglie punto di elettricità; di fatti, presentando questo piano all' ago *on* della bilancia di Coulomb (fig. 428), non si osserva nè attrazione, nè ripulsione. Ma il piano di prova, quando tocchi la superficie esterna della sfera, si elettrizza; difatti, portato nella bilancia produce una attrazione: epperò non avvi elettricità libera che alla superficie esterna della sfera.

Questa conseguenza però non sembra del tutto esatta; difatti Barbouze, avendo recentemente ripetuto l'esperimento ora descritto, ed avendo posto ambedue le superficie della sfera cava in comunicazione con un elettrometro a foglie d'oro (598), ha trovato che ambedue erano cariche della stessa elettricità ed in quantità eguali, il qual

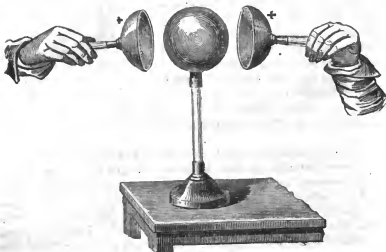



Fig. 430.

risultato dimostrerebbe che l'elettricità non si distribuisce soltanto sulla superficie esterna, ma anche sull'interna. Pertanto è preferibile l'esperimento seguente.

2.° Si adopera uno sfera massiccia, isolata sopra un piede di vetro, e due emisferi cavi di ottone, dello stesso diametro della sfera, i quali possono ricoprirla esattamente ed esserne levati ad arbitrio, per mezzo di manici di vetro. Dopo di avere elettrizzata la sfera, si applicano alla medesima i due emisferi, che si tengono per mezzo di manici di vetro, indi si ritirano rapidamente e simultaneamente (fig. 430). Ora, in tal caso si osserva che am-

bedue sono elettrizzati, ma che la sfera non ha più conservata alcuna traccia di elettricità; il fluido comunicato alla sfera era dunque in totalità alla sua superficie, poichè è stato compiutamente esportato insieme ai due inviluppi che la toccavano.

3.° Si può dimostrare la stessa proprietà anche coll'apparecchio rappresentato dalla figura 431. Esso consiste in un cilindro di ottone isolato, sul quale si avvolge un fo-

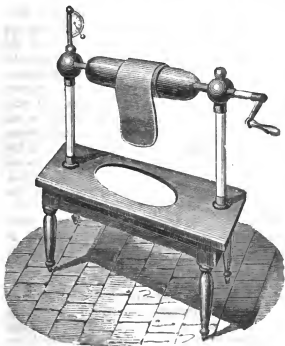



Fig. 431.

glio metallico molto flessibile, che può ad arbitrio svolgersi od avvolgersi facendo ruotare il cilindro per mezzo di una manovella. Finalmente, sopra una sfera metallica comunicante col cilindro è impiantato un piccolo elettrometro composto di un disco d'avorio, al centro del quale è impernata un'asticina leggiera terminata da una piccola palla di midollo di sambuco. Ora, facendo girare il cilindro in modo che il foglio metallico si svolga, la divergenza diminuisce, e torna a crescere se di nuovo lo si avvolge. Se ne conchiude che, rimanendo sempre eguale la quantità di elettricità in un corpo, la ripulsione eser-

citata dal fluido elettrico in ogni punto della superficie diventa tanto minore quanto più cresce la superficie del corpo, d'onde risulta che la elettricità si reca alla superficie del medesimo.

4.° Una quarta esperienza dovuta a Faraday consiste nell'attaccare ad un anello metallico isolato una piccola bisaccia conica di mussolina, somigliante a quelle che servono a pigliar le farfalle (fig. 432). Per mezzo di due fili di seta attaccati, sulle faccie opposte, al vertice del cono, si può rovesciarla come si vuole. Ora, se si elettrizza la mussolina, toccandola con un corpo elettrizzato, si verifica col piano di prova che è elettrizzata soltanto la sua superficie esterna; indi, tirando il filo interno, si rovescia la bisaccia in modo di far diventare esterna la superficie che dapprima era interna, e si riconosce che ancora è elettrizzata soltanto la superficie esterna.

Fig. 432.

5.° Finalmente, l'esperienza mostra come una sfera di metallo massiccia non riceva maggior quantità di elettricità che una sfera di legno dello stesso diametro e coperta di una sottilissima foglia metallica.

La proprietà che ha l'elettricità di accumularsi alla superficie dei corpi viene risguardata come una conseguenza della ripulsione che esercita ciascun fluido elettrico sopra sè stesso. Infatti, sottoponendo al calcolo l'ipotesi dei due fluidi, ammettendo che si attraggano a vicenda in ragione inversa del quadrato della distanza, e che ciascuno di essi respinga sè stesso secondo la medesima legge, Poisson giunse alle stesse conseguenze alle quali arrivò Coulomb sulla distribuzione della elettricità nei corpi. Si è dunque potuto ragionevolmente risguardare la elettricità libera come accumulata, in forma di strato sottilissimo, sulla superficie dei corpi elettrizzati, dai quali essa tende continuamente a sfuggire, essendovi trattenuta soltanto dalla resistenza che le oppone l'aria a motivo della sua poca conduttività (*).

(*) Secondo Faraday la tendenza della elettricità a recarsi alla superficie dei corpi conduttori è più apparente che reale, e le esperienze che ten-

Lo sforzo che fa in tal modo l'elettricità per isfuggire dai corpi si chiama *tensione;* esporremo più innanzi le cause che la fanno variare.

589. **Influenza della forma dei corpi sulla accumulazione della elettricità.** — La grossezza dello strato elettrico su di una sfera metallica è la stessa in tutti i punti della sua superficie. Difatti, considerando la forma speciale del corpo, è evidente che ciò debba avvenire, e si può verificarlo col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione (fig. 428). A quest'uopo si elettrizza una sfera isolata simile a quella rappresentata dalla figura 430, indi, toccandola successivamente in differenti punti col piano di prova, e presentando quest'ultimo, dopo ciascun contatto, all'asticina mobile dalla bilancia, si osserva costantemente la stessa torsione, d'onde si deduce che il piano di prova raccolse dappertutto la stessa quantità di elettricità.

Se il corpo elettrizzato è un'ellissoide allungato (fig. 433), la grossezza dello strato elettrico cessa d'essere uniforme, ed il fluido elettrico, obbedendo sempre alla propria ri-

dono a provare quella disposizione della elettricità possono facilmente ricevere altra spiegazione. Secondo la teoria di questo fisico, nell'interno dei corpi non si può manifestare alcuna carica elettrica a motivo delle direzioni opposte delle elettricità in ciascuna delle molecole interne, dalle quali risulta un effetto nullo, mentre l'induzione (594) esercitata dai corpi esterni rende sensibile l'elettricità alla superficie. Secondo questo modo di vedere, l'elettricità deve mostrarsi soltanto alla superficie di un inviluppo conduttore, qualunque sia la facoltà conduttrice o coibente delle sostanze collocate entro il medesimo. Il che Faraday dimostrò elettrizzando fortemente dell'essenza di trementina posta in un vase di metallo: trovò, difatti, elettricità apparente soltanto sulla superficie esterna del vase. Egli costrusse anche una camera cubica di un metro di lato, le cui pareti, di legno, erano coperte esteriormente da foglie di piombo, la isolò e, postovi dentro elettroscopii ed altri oggetti, elettrizzò l'aria interna con una potente macchina. Nessun segno di elettricità si mostrò nell'interno, mentre forti scintille e pennelli di luce uscivano in tutti i versi dalla superficie esterna. Queste esperienze, che sono come il complemento di quelle fatte da Coulomb sui soli corpi conduttori, rendono poco probabile la spiegazione che finora se n'era data, la quale si appoggiava sulla libera propagazione dell'elettricità nella massa conduttrice per recarsi tutta alla superficie. Ma poichè il fenomeno accade anche coi corpi coibenti collocati nell'interno, quella spiegazione non può più essere valida. »

De La Rive, *Trattato di elettricità*, Tom I. pag. 143.

pulsione, si accumula verso le parti più acuminate, sulle quali lo strato elettrico arriva così ad un massimo di grossezza. Per dimostrarlo, si tocca l'ellissoide in differenti punti col piano di prova, e, portando quest'ultimo nella bilancia di Coulomb, si riconosce che il massimo di torsione si produce quando è stata toccata l'estremità *a* dell'ellisoide, ed il minimo quando il piano di prova fu posto a contatto colla regione media *e*.

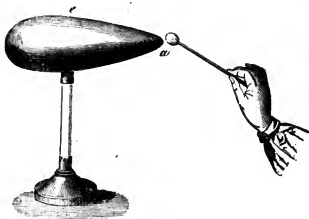



Fig. 433. ($a = 58$).

L'analisi matematica dimostra che qualunque sia la forma del corpo elettrizzato, la tensione (588), in ogni punto della superficie, è proporzionale al quadrato della grossezza dello strato elettrico, e che, nel caso di un'ellissoide, la grossezza di questo strato, alle estremità degli assi, è proporzionale alla lunghezza dei medesimi.

590. **Facoltà delle punte.** — Chiamansi *facoltà delle punte* applicate ai corpi conduttori la proprietà che esse possedono di lasciar effluire il fluido elettrico; questa proprietà, scoperta di Franklin, si spiega dietro la legge della distribuzione di questo fluido alla superficie dei corpi. Di fatti, siccome la elettricità si accumula verso le parti acuminate (589), la grossezza dello strato elettrico cresce verso le punte, e la tensione, crescendo in pari tempo, vince ben presto la resistenza dell'aria, ed allora l'elettricità effluisce nell'atmosfera. Avvicinando la mano alla punta, si sente come un soffio leggiero, che sembra uscire da essa, e, quando lo svolgimento di elettricità si effettua

in un luogo oscuro, si vede sulla punta una piumetta luminosa.

591. **Comunicazione e distribuzione delle elettricità tra i corpi che trovansi a contatto.** — Ponendo a contatto due corpi conduttori, uno elettrizzato e l'altro allo stato naturale, l'elettricità si divide fra i due corpi in un rapporto, che dipende da quello delle loro superficie; e, quando vengono separati, l'uno ha guadagnato, l'altro ha perduto della elettricità su tutti i punti della sua superficie. Se non sono conduttori, la perdita ed il guadagno avvengono soltanto sui punti di contatto.

Per mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione, Coulomb fece numerosi esperimenti sulla distribuzione della elettricità alla superficie dei corpi, che trovansi a mutuo contatto. Adoperando sfere metalliche isolate, poste a contatto indi elettrizzate, trovò che il fluido elettrico si distribuisce diversamente sulle loro superficie secondo il rapporto dei diametri. Ove questi siano eguali, la grossezza dello strato elettrico è nulla al punto di contatto, non diventa sensibile che a 20° da questo punto, cresce rapidamente da 20° a 30°, più lentamente da 60° a 90°, e resta prossimamente costante da 90° a 180°.

Quando i diametri siano diversi, per esempio nel rapporto di 2 a 1, la grossezza dello strato elettrico, la quale è ancora nulla al punto di contatto, partendo da questo punto trovasi dapprima maggiore sulla sfera più voluminosa; ma aumenta in seguito più rapidamente sulla più piccola, e la massima grossezza dello strato trovasi su questa a 180° dal punto di contatto.

592. **Dispersione della elettricità nell'aria.** — I corpi elettrizzati, quantunque isolati, perdono sempre più o meno rapidamente la loro elettricità. Questa perdita dipende da due cause: 1.° dalla conducibilità dell'aria e dei vapori, che avviluppano i corpi; 2.° dalla conducibilità degli isolatori, che servono di sostegni.

La perdita dipendente dalla prima di queste cause varia colla tensione elettrica, col più o meno sollecito rinnovamento dell'aria e col suo stato igrometrico. L'aria secca è un cattivo conduttore della elettricità; ma quando l'aria sia umida, diventa buon conduttore, e tanto più quanto è maggiore la quantità di vapore che contiene. Coulomb dimostrò che *in un' aria tranquilla, e ad uno stato igrometrico costante, la perdita, in un tempo brevissimo, è proporzionale alla tensione,* la qual legge è analoga a quella di Newton sul raffreddamento (354).

Gli esperimenti di Coulomb erano eseguiti in aria umida; ma, entro gas perfettamente essiccati, Matteucci trovò che la dispersione dell'elettricità non segue la legge di Coulomb, e che, entro certi limiti di tensione, la perdita è indipendente dalla quantità di elettricità e proporzionale al tempo, cioè che le perdite successive in tempi eguali sono eguali.

Secondo il medesimo fisico, a parità di pressione e di temperatura, la perdita è la stessa entro l'aria, l'idrogeno e l'acido carbonico compiutamente essiccati; a forti tensioni, la perdita è maggiore per l'elettricità negativa che per la positiva; nei gas secchi, a pressione costante, la perdita cresce colla temperatura; finalmente, la perdita entro i gas secchi è indipendente dalla natura del corpo elettrizzato, cioè rimane la stessa per un conduttore e per un coibente.

I sostegni non solo non isolano perfettamente, ma, come risulta dalle osservazioni di Coulomb, producono una perdita abbondante pei corpi fortemente elettrizzati. Questa perdita diminuisce gradatamente, e diventa costante quando la tensione elettrica è assai indebolita. Allora essa può essere anche trascurata quando gli isolatori abbiano una sufficiente lunghezza; la quale lunghezza, giusta Coulomb, deve aumentare proporzionalmente al quadrato della tensione elettrica del corpo che vuolsi isolare. La gomma lacca può per tale guisa isolare quasi compiutamente; ma il vetro, il quale è igrometrico, deve essere, a questo scopo, diligentemente asciugato.

593. **Dispersione della elettricità nel vuoto.** — Siccome la elettricità è trattenuta alla superficie dei corpi dalla cattiva conducibilità dell'aria, quando questa venga rarefatta, la dispersione aumenta, e, nel vuoto, ove la resistenza è nulla, tutta la elettricità sfugge. Tale almeno è la conseguenza alla quale conduce la teoria matematica, che rende ragione dell'equilibrio della elettricità sulla superficie dei corpi; ma Becquerel osservò che nell'aria, alla pressione di un millimetro (165), un corpo conserva ancora della elettricità dopo dieci giorni. Lo stesso scienziato, nel suo trattato di elettro-chimica, cita delle esperienze recenti le quali tendono a provare, che un corpo elettrizzato disposto in un vuoto perfetto e lungi da oggetti che potrebbero esercitare su di esso qualche azione elettrica per influenza (594), conserva indefinitamente una certa tensione elettrica.

CAPITOLO III.

AZIONE DEI CORPI ELETTRIZZATI SUI CORPI ALLO STATO NATURALE; MACCHINE ELETTRICHE.

594. **Elettrizzazione per influenza.** — Un corpo elettrizzato agisce su di un corpo allo stato neutro nello stesso modo che una calamita agisce sul ferro dolce (553); cioè ne decompone il fluido neutro, attrae l'elettricità di nome contrario alla propria e respinge quella dello stesso nome. Per esprimere questo effetto, che è una conseguenza dell'azione mutua delle due elettricità, si dice che il corpo, il quale trovavasi prima allo stato neutro, ora è *elettrizzato per influenza*.

Si dimostra l'elettrizzazione per influenza adoperando un cilindro di ottone, isolato su di un piede di vetro, e che porta, alle sue estremità, due piccoli pendoli elettrici formati di palle di sambuco sospese a fili conduttori di canapa (fig. 434). Collocando questo cilindro alla distanza di qualche centimetro da uno dei conduttori *m* della macchina elettrica, il quale, come si vedrà più innanzi, è carico di fluido positivo, questo conduttore attrae il fluido negativo del cilindro e ne respinge il positivo; di maniera che, distribuendosi allora i due fluidi come indicano nella figura i segni + e —, ambedue i pendoli si trovano respinti.

Per riconoscere la specie di elettricità di cui sono caricate le estremità del cilindro, si strofina una bacchetta di cera di Spagna e, presentandola al pendolo più vicino alla macchina elettrica, si osserva una ripulsione; d'onde si deduce che il pendolo è caricato della stessa elettricità della cera di Spagna, cioè di fluido negativo. Presentando del pari al secondo pendolo un tubo di vetro strofinato, avviene egualmente una ripulsione, e quindi il pendolo è elettrizzato positivamente. Per conseguenza, un corpo elettrizzato per influenza possiede simultaneamente, sopra due parti opposte, le due specie di elettricità allo stato libero. Fra queste parti elettrizzate oppostamente si trova una regione media allo stato neutro, il che si verifica disponendo parecchi piccoli pendoli lungo il cilindro; la loro divergenza decresce rapidamente colla distanza dalle estremità, e diventa nulla verso un certo punto, che è il *punto medio*. Questo punto non è mai alla metà della

lunghezza del cilindro; la sua posizione varia colla carica elettrica e colla distanza del cilindro dal corpo che agisce per influenza sopra il medesimo; però è sempre più vicino all' estremità rivolta verso questo corpo.

Un corpo elettrizzato per influenza agisce alla sua volta sui corpi vicini per separare i loro fluidi, come mostra la disposizione relativa dei segni + e — sulla sfera isolata rappresentata alla destra del cilindro. Se ne può

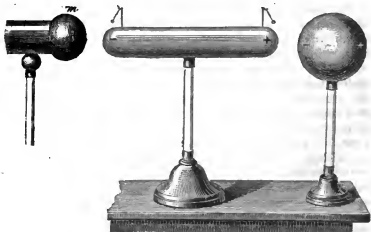



Fig. 434. ($a = 54$).

avere la prova collocando dopo il primo un secondo cilindro munito di pendoli.

Ogni corpo elettrizzato per influenza presenta i due fenomeni seguenti : 1.° *Appena che cessa l'influenza, i due fluidi si ricompongono ed il corpo non conserva alcuna traccia di elettricità ;* il che si verifica col cilindro della figura 434, perchè i due pendoli ricadono tosto che lo si allontani dalla sorgente elettrica o che si riconduca quest' ultima allo stato neutro toccandola col dito. 2.° Quando un corpo conduttore è elettrizzato per influenza e se ne tocca *un punto qualunque* o con una verga metallica o col dito, *avviene sempre che il fluido dello stesso nome di quello della sorgente elettrica effluisce nel suolo, mentre il fluido di nome contrario è trattenuto dall' attrazione del fluido della sorgente.* Per esempio, nel cilindro rappresentato dalla figura 434 rimane il fluido negativo, sia che lo si tocchi alla estremità positiva od alla estremità negativa o nel mezzo.

Una macchina elettrica non può caricarsi quando si trovi vicina ad una punta metallica comunicante col suolo, e ciò in causa di elettrizzazione per influenza; difatti, siccome il fluido positivo della macchina agisce per influenza sulla punta, così effluisce da questa (590) una corrente continua di fluido negativo, il quale neutralizza l'elettricità della macchina.

595. Teoria di Faraday sulla elettrizzazione per influenza. — La teoria della elettrizzazione per influenza, quale fu qui esposta, è stata fino ad ora ammessa da tutti i fisici; ma recenti lavori di Faraday, Melloni e Volpicelli sulla polarità elettrica tendono a modificarla e fors'anco a rovesciarla del tutto. Infatti, finora nei fenomeni di questa specie non si era preso in considerazione il mezzo che separa il corpo elettrizzato da quello sul quale esso agisce per influenza. Ora, le nuove esperienze di Faraday e quelle di Melloni conducono piuttosto a far supporre che tutti i fenomeni della influenza elettrica avvengano per l'azione di questo stesso mezzo e non per una azione che si eserciti a distanza maggiore di quella che passa tra due molecole adiacenti. Faraday ammette che nel mezzo interposto si hanno degli strati di molecole alternativamente elettrizzati l'uno positivamente l'altro negativamente; il quale stato è ciò che chiamasi *polarizzazione* del mezzo. Nella nuova teoria adunque l'azione che i corpi elettrizzati sembrano esercitare sui corpi allo stato neutro sarebbe da attribuirsi alla polarizzazione delle molecole dell'aria; mentrechè nella teoria finora ammessa l'aria non avrebbe che una parte passiva e non farebbe che opporsi per la sua coibenza alla ricomposizione delle elettricità contrarie. Insomma la nuova teoria tende a sostituire alle azioni a distanza l'azione continua e costante di un mezzo, cioè di una sostanza intermediaria idonea a trasmettere l'azione da un corpo all'altro. Nelle teorie ammesse finora è talmente inveterata l'usanza di supporre che i corpi possano agire gli uni sugli altri a distanza, come una calamita sopra una calamita, il sole sui pianeti, che abbisogna tutta l'autorità di Faraday per emettere l'opinione contraria. Però rammentiamo che anche Newton esitò lungamente prima di stabilire ne' suoi *Principii* la attrazione come una proprietà inerente alla materia, temendo il rimprovero che si poteva fargli di ricondurre in campo le cause occulte tanto meritamente rifiutate dai moderni. (*)

Denominando *facoltà induttiva* la proprietà che hanno i corpi di trasmettere la induzione elettiva attraverso alla loro massa, Faraday trova che

(*) « La teoria di Faraday, dice De La Rive, sebbene abbisogni di essere ulteriormente studiata, merita nondimeno fin d'ora l'attenzione dei fisici. Pare che essa sia fondata sopra un principio esatto, che cioè le azioni elettriche si manifestano sempre per mezzo delle particelle materiali, e così essa tende a stabilire una analogia tra le forze elettriche e le altre forze naturali. Finalmente, dalle esperienze di Faraday risultò un fatto importante per la scienza, cioè la polarizzazione molecolare nei corpi coibenti, la quale deve considerarsi probabilmente come modo di propagazione dell'elettricità anche nei conduttori. »

questa facoltà è differente nei varii corpi. Per paragonare le facoltà indut-tive delle diverse sostanze, egli fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 436 e del quale la figura 435 dà una sezione verticale. Questo apparecchio consta di un inviluppo sferico PQ, formato da due emisferi di ottone, che possono essere separati come gli emisferi di Magdeburgo (figura 79) e, come questi, possono combaciare esattamente pei loro lembi Entro questo inviluppo trovasi una sfera C di ottone, di diametro minore di

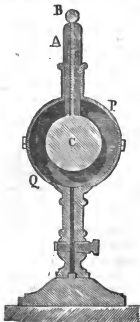



Fig. 435. *Fig.* 436.

quello dell' inviluppo e comunicante con una palla esterna B, per mezzo di un' asta metallica isolata mediante un grosso rivestimento A di gomma lacca. Lo spazio *mn* è destinato a contenere la sostanza di cui si vuole misurare la facoltà induttiva. Finalmente, nel sostegno dell' apparato trovasi un canale a chiavetta, il quale può essere fissato a vite sulla macchina pneumatica per rarefare più o meno l'aria contenuta nello spazio *mn*.

Per esperimentare, conviene avere due apparati simili all' ora descritto, identici tra loro e pieni da principio ambedue d'aria nello spazio *mn*. Ponendo l' inviluppo PQ in comunicazione col suolo e la palla B con una sorgente di elettricità, la sfera C si carica come l'armatura interna di una bottiglia di Leyda ove lo strato d'aria *mn* rappresenta il coibente, che separa le due armature. Quando l'apparato è carico, si misura la tensione della elettricità rimasta libera sulla sfera C, toccando la palla B con un

piano di prova, e portando quest' ultimo nella bilancia di Coulomb, Faraday ottenne allora nel suo esperimento una tensione di 250°, la quale rappresentava la tensione sulla sfera C. Ponendo poscia in comunicazione la palla B dell' apparato carico colla palla analoga del secondo apparato non ancora carico, si trova, col mezzo del piano di prova, che la tensione sopra ciascuna delle sfere C è sensibilmente 125°, cioè che l' elettricità si è distribuita egualmente nei due apparati; risultato da prevedersi poichè gli apparati sono identici e contengono ambedue dell'aria nell'intervallo *mn*.

Si ripete indi questa stessa esperienza, dopo avere empito l'intervallo *mn*, nel secondo apparato, con quella sostanza di cui si vuole esaminare la facoltà induttiva, per esempio con gomma lacca. In seguito, caricato l' altro apparecchio, nel quale l'intervallo *mn* è sempre privo di aria, si misura la tensione sulla sfera C, che supporremo 290, come nell' esperimento di Faraday. Allora se si fanno comunicare tra loro le due palle B degli apparati non è più la tensione di ciascuna di esse eguale alla metà di 290, ma l'apparecchio ad aria segna una tensione 114 e quello a gomma lacca 113. Dunque l'apparato che aveva 290 ha perduto 176, e perciò si dovrebbe trovare 176 nell'apparato a gomma lacca. Ma siccome non vi si trova che 113, così è manifesto che attraverso lo strato di gomma lacca nel secondo esperimento fu neutralizzata una maggiore quantità di elettricità che non fosse nel primo attraverso allo strato d' aria; onde si conchiude che la facoltà induttiva della gomma lacca è maggiore di quella dell'aria.

Operando come ora si è esposto, si trova che, rappresentando con 1 la facoltà induttiva dell'aria, quelle di altri corpi sono:

Aria	1,..	Cera gialla	1,86
Flint	1,76	Vetro	1,90
Resina	1,77	Gomma lacca	2,..
Pece	1,80	Solfo	2,24

Rispetto ai gas, Faraday ha trovato che hanno tutti pressochè la stessa facoltà induttiva, e che questa non viene modificata nè dalla temperatura nè dalla pressione dei gas.

In grazia della facoltà induttrice che possedono i corpi coibenti, Faraday denominò questi corpi *dielettrici*, per opposizione ai corpi conduttori che non hanno la stessa proprietà. Il medesimo fisico, il quale fece un accurato studio della parte che prendono i corpi dielettrici nell' induzione, giunse a questi risultati.

1.° *Che non vi è induzione attraverso ai corpi conduttori quando essi comunicano col suolo.*

2.° *Che l'induzione di un corpo sopra un altro può esercitarsi in linea curva quando tra i due corpi sia interposto un corpo dielettrico.*

Questi principii però non sono accettati da tutti i fisici, potendo gli esperimenti di Faraday ricevere una interpretazione diversa da quella ch' egli ne diede.

Matteucci, che parimenti studiò diligentemente l'induzione dei corpi elettrizzati sui cattivi conduttori, giunse non ha guari a porre fuori di dubbio

la polarizzazione elettrica molecolare. Egli dimostrò inoltre che la facoltà isolante di una sostanza è tanto maggiore quanto più debole è la sua polarizzazione molecolare,

Dai lavori di Faraday e di Matteucci risulta che i cattivi conduttori possono trasmettere lentamente la elettricità, non solo per la loro superficie ma attraverso alla loro massa. Quando, per esempio, un bastone di resina è lasciato per qualche tempo in contatto con una macchina elettrica carica, lo si trova elettrizzato positivamente sopra una estensione più o meno grande. Strofinandolo allora con lana, si elettrizza negativamente, indi a poco a poco passa allo stato neutro e, finalmente, riappare l'elettricità positiva, e ciò perchè essendo state dalla macchina elettrica polarizzate le molecole sino ad una certa profondità, quando queste reagiscono sulle superficiali, le riducono dapprima allo stato neutro, indi allo stato positivo.

596. **Comunicazione della elettricità a distanza.** — Nell'esperimento rappresentato dalla figura 434 le elettricità contrarie del conduttore *m* e del cilindro isolato tendono a riunirsi, e rimangono alle superficie di questi due corpi soltanto per la resistenza dell'aria; ma se diminuisce la distanza o la tensione cresce, la forza attrattiva delle due elettricità vince l'ostacolo che le separa, e queste allora si ricompongono a traverso dell'aria producendo una scintilla più o meno viva accompagnata da scoppiettìo. Siccome allora l'elettricità negativa del cilindro si trova neutralizzata dalla elettricità positiva della macchina, sul primo rimane soltanto della elettricità positiva, che esso conserva quantunque cessi l'influenza.

Lo stesso fenomeno accade quando si presenti il dito ad un corpo fortemente elettrizzato; quest'ultimo decompone per influenza l'elettricità naturale della mano, respinge nel suolo il fluido dello stesso nome, attrae il fluido contrario e si produce la scintilla.

La distanza dell'espolsione varia colla tensione del fluido elettrico, colla forma dei corpi, colla loro facoltà conduttrice e colla maggiore o minore resistenza del mezzo interposto.

Tutto quanto precede si applica alla elettrizzazione per influenza dei corpi buoni conduttori; quelli che sono cattivi conduttori si elettrizzano difficilmente per influenza, ma, una volta elettrizzati, si mantengono in questo stato per un certo tempo anche dopo cessata la causa che lo produsse, il quale fenomeno si spiega colla polarizzazione molecolare di questi corpi (595).

597. **Movimenti dei corpi elettrizzati.** — La teoria della elettrizzazione per influenza spiega i movimenti prodotti dalle attrazioni e ripulsioni reciproche dei corpi elettrizzati. Di fatti, essendo dati un corpo fisso M (fig. 437), che supporremo elettrizzato positivamente, ed un corpo mobile N, situato a piccola distanza dal primo, si possono considerare tre casi:

1.° *Il corpo mobile è conduttore e allo stato naturale.* — In questo caso, il corpo M, agendo per influenza sul fluido neutro del corpo N, attrae il fluido negativo e respinge il fluido positivo, di maniera che il massimo di tensione dei due fluidi trovasi rispettivamente ai punti a e b. Ora, siccome le attrazioni e le ripulsioni elettriche si esercitano in ragione inversa del quadrato della distanza (587), l'attrazione fra i punti a e c supera la ripulsione fra i punti b e c, ed il corpo mobile si avvicina al corpo fisso per effetto di una risultante eguale all'eccesso della forza attrattiva sulla forza ripulsiva.

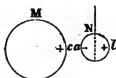



Fig. 437.

2.° *Il corpo mobile è conduttore ed elettrizzato.* — Se il corpo mobile è carico di elettricità contraria a quella del corpo M, avvi sempre attrazione; se è carico della stessa elettricità, ad una certa distanza avvi ripulsione, ma a distanza minore può avvenire attrazione, senza che vi sia stato contatto. Per ispiegare questa anomalia, basta osservare che oltre al fluido libero contenuto già nel corpo mobile, questo contiene anche del fluido naturale, il quale viene decomposto dall'influenza del fluido positivo del corpo M, onde l'emisfero b riceve una nuova quantità di fluido positivo, mentre l'emisfero a si carica di fluido negativo; avvi dunque, come nel caso precedente, attrazione e ripulsione. La seconda forza supera dapprincipio la prima perchè la quantità di fluido positivo sul corpo N è maggiore della quantità di fluido negativo; ma, diminuendo l'intervallo ac, la forza attrattiva cresce più rapidamente della forza ripulsiva e può finire col superarla.

3.° *Il corpo mobile è cattivo conduttore.* — Il corpo mobile, se è cattivo conduttore ed elettrizzato, viene respinto od attratto a norma che si trova carico della stessa elettricità del corpo fisso o di elettricità contraria. Se è allo stato naturale, siccome una sorgente di elettricità molto energica, e la cui azione si protragga, può sempre, anche

in un cattivo conduttore, decomporre più o meno il fluido naturale, quest'ultimo viene, di fatti, decomposto, sotto l'influenza del corpo M, quando sia sufficientemente elettrizzato, ed allora avviene l'attrazione.

598. **Elettroscopio a foglie d'oro.** — Chiamansi *elettroscopii* od *elettrometri* certi piccoli apparati, che servono a riconoscere se un corpo sia elettrizzato, e quale sia la specie della sua elettricità. Il pendolo elettrico descritto al paragrafo 576 è un elettroscopio. Si immaginarono molte sorta di questi apparati; per ora noi descriveremo soltanto l'elettroscopio a foglie d'oro, ma più innanzi faremo conoscere un altro apparato di questo genere e molto più sensibile, *l'elettrometro condensatore* di Volta (619).

Fig. 438 ($a = 21$).

L' *elettroscopio a foglie d'oro* od *eletteroscopio di Bennet*, consiste in una bottiglia B di vetro (fig. 438), che è posata su di un disco di ottone ed il collo della quale è chiuso da un turacciolo ricoperto di vernice isolante; della stessa vernice è pure rivestita la parte superiore della bottiglia. A traverso del turacciolo passa un verga di ottone terminata esteriormente da una sfera C, pure di ottone, ed internamente da due foglie *n* d'oro leggerissime.

Quando si avvicina a quest'apparato un corpo carico di una elettricità qnalunque, per esempio di elettricità negativa, come indica la figura, siccome questa elettricità agisce per influenza sul fluido neutro della sfera e della verga, il fluido positivo è attratto verso la sfera ed il fluido negativo respinto verso le foglie d'oro. Queste, trovandosi così cariche della stessa elettricità, si respingono e ciò dimostra appunto che il corpo A, presentato all'elettrometro, è elettrizzato.

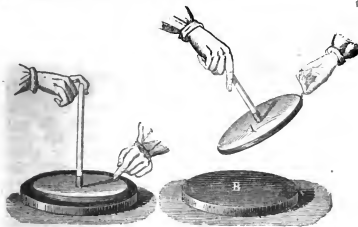
Se si ignora di quale specie di elettricità sia caricato il corpo avvicinato all'elettroscopio, si può facilmente riconoscerla toccando col dito la sfera C, mentre lo strumento è sotto l'influenza del corpo A. L'elettricità dello stesso nome di quella di cui trovasi caricato il corpo A è allora

respinta nel suolo; e la sfera, al pari della verga, rimane carica di elettricità contraria a quella del corpo (594). Le foglie d'oro dapprima ricadono, ma, ritirando il dito e quindi il corpo A, divergono di nuovo. Per constatare allora la specie di elettricità conservata dall'istrumento, si avvicina lentamente alla sfera C un cilindro di vetro strofinato con un pannilano; se la divergenza delle foglie aumenta, se ne deduce che l'elettricità dell'elettroscopio è respinta alla parte inferiore, e quindi che essa è della stessa specie di quella del vetro, cioè positiva. Se la divergenza diminuisce, ciò vuol dire che l'elettricità dell'apparato è attratta da quella del vetro ed è quindi di nome contrario, cioè negativa.

Sulle pareti interne del vase sono incollate due liste di stagno opposte l'una all'altra; esse servono ad aumentare la sensibilità dell'elettroscopio, perchè si caricano per influenza di elettricità contraria a quella delle foglie d'oro.

MACCHINE ELETTRICHE.

599. **Elettroforo**. — Si chiamano *macchine elettriche* alcuni apparati che servono ad ottenere uno sviluppo più o meno copioso di elettricità statica. La più semplice delle macchine elettriche è *l' elettroforo.*

Fig. 439. *Fig* 4[illegible].

Quest'apparecchio, inventato da Volta, risulta di un disco di resina B (fig. 440) applicato su di un disco di le-

gno, e di un altro disco di legno A coperto di una foglia di stagno e munito di un manico isolante di vetro. Per ottenere della elettricità con questo apparato, si incomincia coll'asciugare il disco di legno A, riscaldandolo alquanto, indi con una pelle di gatto si batte fortemente la resina, la quale rimane allora carica di elettricità negativa. Collocando poscia il disco di legno coperto di stagno sulla resina (439), questa, che è un cattivissimo conduttore, conserva la sua elettricità negativa, e, per la sua influenza sul disco, attrae il fluido positivo verso la superficie che trovasi a contatto con essa, mentre respinge sull'altra il fluido negativo. Toccando quindi la foglia di stagno col dito, si sottrae il fluido negativo e il disco di legno resta elettrizzato positivamente. Di fatti, sollevandolo con una mano applicata al manico di vetro e presentandogli l'altra mano (fig. 440), scocca una viva scintilla dovuta alla ricomposizione del fluido positivo del disco col fluido negativo della mano.

Nell'aria asciutta la resina dell'elettroforo, una volta elettrizzata, può conservare la propria elettricità pel corso di parecchi mesi, durante i quali si possono ottenere quante scintille si vogliano, senza batterla di nuovo colla pelle di gatto, purchè, ad ogni volta, si usi l'avvertenza di toccare il disco coperto di stagno, dapprima mentre esso si trova a contatto colla resina, indi quando lo si tiene sollevato come si è detto.

L'elettroforo serve in chimica per far detuonare nell'eudiometro delle mescolanze gasose per mezzo della scintilla elettrica (627).

600. **Macchina elettrica di Ramsden.** — La prima macchina elettrica è dovuta ad Ottone di Guericke, quello stesso che inventò la macchina pneumatica. Essa consisteva in una sfera di solfo fissata ad un asse, che si faceva ruotare con una mano, mentre l'altra, appoggiata sulla sfera, serviva di strofinatore. In seguito si sostituì alla sfera di solfo un cilindro di resina, al quale Hawkesbée surrogò un cilindro di vetro; la mano serviva sempre di strofinatore. Verso il 1740, Winkler, fisico tedesco, adottò, pel primo, come strofinatore, un cuscino di crini coperto di seta. Alla stessa epoca, Boze, professore nel ducato di Würtemberg, raccolse su di un tubo di latta isolato l'elettricità sviluppata collo strofinamento. Finalmente, nel 1766, Ramsden, a Londra, sostituì al cilindro di vetro un disco della stessa sostanza strofinato da quat-

tro cuscinetti. Da quell'epoca la macchina elettrica prese la forma che le si dà generalmente oggidì.

Fra due ritti di legno (fig. 441) trovasi un disco P di vetro, fissato pel suo centro ad un asse che si fa ruotare

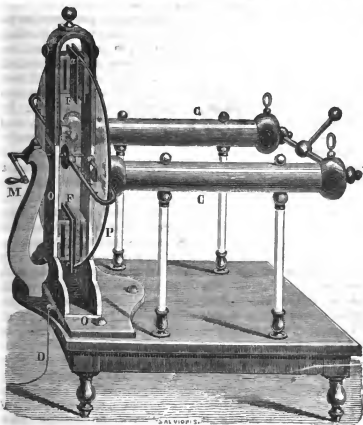



Fig. 441 (a = 170).

per mezzo di una manovella M. Questo disco, nella direzione del suo diametro verticale, è compresso fra quattro *strofinatori* o *cuscinetti* F, di cuojo o di seta; nella direzione del suo diametro orizzontale passa fra due tubi di ottone curvati a ferro di cavallo e distinti col nome di *pettini*, perchè sono armati di punte collocate ai lati rimpetto al disco. Questi pettini sono fissati a due tubi più voluminosi C, che chiamansi i *conduttori* e che, isolati su quattro piedi di vetro, comunicano fra loro per mezzo di un tubo di diametro minore.

Ciò posto, la teoria della macchina elettrica, fondata sullo sviluppo della elettricità per strofinamento e per influenza, è semplicissima: il disco di vetro, ruotando, si elettrizza positivamente, ed i cuscinetti si elettrizzano negativamente. Ora, questi ultimi, comunicando col suolo per mezzo dei ritti ai quali sono fissati, perdono immediatamente la loro elettricità a misura che essa si produce. L'elettricità positiva del disco agisce per influenza sui conduttori ed attrae il fluido negativo, il quale, svolgendosi dalle punte, va a combinarsi colla elettricità positiva del vetro e la neutralizza. I conduttori, perdendo così la loro elettricità negativa, restano elettrizzati positivamente. Per conseguenza, nella macchina elettrica, il disco non cede nulla ai conduttori, anzi non fa che sottrarre da essi il fluido naturale.

Avvicinando la mano alla macchina caricata se ne trae una viva scintilla, la quale si riproduce per tutto il tempo in cui continua la rotazione del disco, perchè, risultando la scintilla dalla combinazione del fluido negativo della mano col fluido positivo della macchina, quest'ultima, ad ogni scintilla, torna quasi allo stato neutro, ma tosto l'influenza del disco la elettrizza di nuovo.

601. **Cure da aversi per le macchine elettriche.** — Per dare ad una macchina elettrica tutta l'attività di cui è suscettibile, bisogna asciugare diligentemente i sostegni, il disco ed i cuscinetti. Perciò si riscaldano leggiermente queste parti e si strofinano con un pannilino caldo.

I cuscinetti meritano una speciale attenzione, tanto per la loro disposizione quanto per conservarli in buono stato. I più usitati sono di cuojo sottile, ripieni di crini e coperti d'oro *musivo*, sostanza polverosa costituita da bisolfuro di stagno e dotata della facoltà di aumentare notabilmente lo sviluppo della elettricità, probabilmente in causa di una reazione chimica, come pare potersi desumere dall'odore solforoso emanato dai cuscinetti durante lo strofinamento.

Però, Ed. Becquerel, sebbene riconosca che le sostanze ossidabili e capaci de' più energici effetti nelle azioni chimiche svolgano anche nello strofinìo maggior copia di elettricità, pure ammette che lo stato molecolare dei corpi influisce assai sui risultati che si ottengono. Infatti, egli constatò sperimentalmente che i corpi in polvere e untuosi al tatto, come l'oro musivo, il talco, la piombaggine, la

farina, i fiori di solfo, il coke sviluppano molta elettricità collo strofinìo. Ma forse ciò avviene perchè durante lo strofinìo, in presenza dell'ossigeno dell'aria, lo stato di polvere esile, in cui queste sostanze si trovano ridotte, le rende meglio atte alle azioni chimiche.

Da pochi anni in qua Steiner, a Francoforte sul Meno, rimise in uso degli antichi strofinatori, che sembrano stati inventati da Van-Marum, nel 1788, e che danno alle macchine una tensione elettrica molto superiore a quella che si ottiene coi cuscinetti di crini. Questi strofinatori, rappresentati nella figura 413, consistono in una piastra di legno levigata e compressa sul disco da una doppia molla, o meglio da due viti di pressione che si regolano ad arbitrio. La piastra di legno è coperta in tutta la sua estensione da quattro pezzi di una stoffa di lana di grossezza eguale a quella delle ordinarie coperte da letto. Sul primo di questi pezzi è applicata una foglia di stagno, che si ripiega inferiormente per passare tra il primo pezzo di lana ed il secondo, poi tra il secondo e il terzo e così fino a raggiungere la piastra dove è posta in comunicazione con un foglio di carta dorata applicata dietro alla piastra e comunicante col suolo per mezzo di foglie di stagno e di catene metalliche fisse sui montanti che portano i cuscinetti.

Tutte queste parti ora descritte sono coperte di una stoffa di cotone incrociata, fissata con chiodi sul contorno della piastra, poi spalmata leggermente di sego e ricoperta con una amalgama di stagno, zinco e bismuto, e della quale Steiner non fece conoscere la composizione quantitativa. Su questa stoffa di cotone si applica di poi un pezzo di robusto drappo inglese cucito da tre lati sul cotone, e che dall'uno dei fianchi si prolunga nel verso della rotazione del disco, per un tratto di circa 6 centimetri, in guisa da coprire una parte del disco stesso. Finalmente, sul drappo inglese si stende una seconda spalmatura di sego ed un nuovo strato della stessa amalgama, che già si disse posta sul cotone. Quest'ultimo strato di amalgama strofina il vetro e lo carica di elettricità positiva, mentre esso prende la negativa, che trasmette all'amalgama del cotone, indi alla foglia di stagno e al suolo.

Steiner osservò che il colore del drappo inglese non è senza influenza sullo sviluppo della elettricità; il giallo è quello che dà maggior copia di elettricità: vengono in seguito il verde, l'azzurro, il rosso, il bianco poi il bruno

e il violetto e da ultimo il nero, che non ne somministra affatto.

Coi cuscinetti ora descritti, si ottiene, specialmente se l'aria è asciutta, un notabile sviluppo di elettricità. Se si adoperano macchine con un disco di 80 centimetri di diametro vedesi che dai cuscini si slanciano costantemente sui pettini delle vive scintille, nella direzione del lembo del piatto A; il quale effetto dipende probabilmente dalla forma tagliente dello spigolo di quest' ultimo e dall' oro musivo, che rimane aderente al medesimo. Il solo inconveniente che presentino gli strofinatori di cui abbiamo dato la descrizione, consiste in ciò che essi si lordano in breve tempo, onde bisogna rinnovarli di frequente altrimenti la loro efficacia si indebolisce.

Allo scopo di evitare che l' elettricità sviluppata sul disco si disperda nell'aria, si fissano qualche volta ai ritti di legno due settori di drappo inglese gommato, i quali avviluppano il vetro l'uno a destra del cuscino a e l'altro al basso dalla banda opposta. Nella figura questo drappo non è disegnato. Si è riconosciuto che i migliori effetti si ottengono con seta gialla sottile e impregnata d'olio; importa che il drappo sia coperto di gomma soltanto sulla faccia applicata contro il vetro; finalmente, conviene che siavi contatto perfetto tra la stoffa e il disco di vetro.

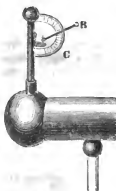
La macchina elettrica di Ramsden, disposta come mostra la figura 441, dà necessariamente della elettricità positiva; ma si può anche ottenere da una macchina elettrica la elettricità negativa. Per ciò si isolano i quattro piedi del tavolo sopra sostegni di vetro o di resina di una certa grossezza, indi si fa comunicare il conduttore C col suolo. Allora, facendo girare il disco, l'elettricità positiva del conduttore si trasmette al suolo, mentre l' elettricità negativa dei cuscinetti si diffonde nei ritti che sostengono il disco e nel tavolo. Avvicinando la mano ai ritti, e meglio ancora alle liste di stagno O, se ne cavano delle scintille, le quali, con una macchina potente, producono un senso di puntura molto più forte di quella che produce la scintilla dei conduttori.

602. **Tensione massima, elettrometro a pendolino.** — Anche nel caso in cui si adempiano tutte le condizioni che abbiamo fatto conoscere, la tensione della macchina elettrica ha un limite che non può essere superato, qualunque sia la velocità di rotazione del disco ed il tempo pel quale continui la rotazione. Questo limite è

raggiunto quando la produzione eguaglia la somma delle perdite. Tali perdite provengono da tre cause, che sono: 1.ª la perdita che avviene in causa dell'aria e del vapore acqueo in essa contenuto, la quale è proporzionale alla tensione (592); 2.ª la perdita pei sostegni; 3.ª la ricomposizione delle due elettricità dei cuscinetti e del disco di vetro.

Abbiamo già considerate le due prime cause di perdita (592); per renderci conto della terza, basti osservare che, siccome la tensione elettrica cresce colla velocità di rotazione, giunge un istante in cui questa tensione supera la resistenza che le presenta la poca conduttività del vetro. Da quest'istante una parte delle due elettricità sviluppate sul vetro e sui cuscini si ricompone. Per evitare questa causa continua di dispersione, importa far comunicare i cuscinetti col suolo nel modo più intimo, affinchè l'elettricità, effluendo nel suolo, non venga a neutralizzare quella del disco. A questo scopo lungo i montanti di legno della macchina sono incollate delle foglie di stagno O (fig. 441), che dai cuscinetti scendono sino alla catena D. Quest'ultima poi deve immergersi nell'acqua di un pozzo o comunicare col piede di un albero, o, se è possibile, con una delle colonne di ghisa che sostengono i fanali a gas.

Fig. 442.

La tensione della elettricità sulle macchine elettriche si misura coll'*elettrometro a pendolino* o *elettrometro di Henley*. Si dà questo nome ad un piccolo pendolo elettrico consistente in un'asta di legno alla quale è fissato un quadrante d'avorio C (fig. 442). Al centro di quest'ultimo avvi un piccolo asse intorno al quale può girare un pendolino formato con un osso di balena infisso in una palla di midollo di sambuco B. Trovandosi lo strumento fissato a vite sopra uno dei conduttori, come mostra la figura, a misura che la macchina si carica l'indice diverge, e cessa di ascendere quando è stato raggiunto il massimo di tensione. Cessando allora dal ruotare il disco, nell'aria umida l'indice ridiscende rapidamente, ma nell'aria secca si abbassa con lentezza, onde si desume che in quest'ultimo caso la perdita è piccola.

603. **Conduttori secondarii.** — Chiamansi *conduttori secondarii* dei grossi cilindri di ottone, di latta o di legno coperto di stagno, che si isolano appoggiandoli su piedi di vetro o sospendendoli a cordoni di seta, e che si fanno in seguito comunicare coi conduttori della macchina elettrica. Essendo così aumentata la superficie su cui si accumula la elettricità, sebbene non cresca la tensione, cresce però la quantità di elettricità proporzionalmente alla superficie. Di fatti, quando si scarichi la macchina corredata di conduttori secondarii, facendola comunicare col suolo, se ne traggono forti scintille, che producono una viva luce nell'aria.

604. **Macchina elettrica di Nairne.** — Colla macchina elettrica che abbiamo descritta si può raccogliere soltanto l'elettricità positiva o la negativa. Nairne, in

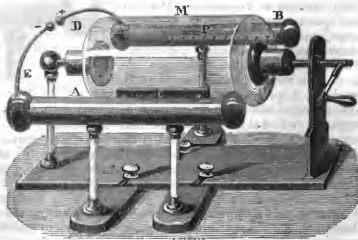



Fig. 443. (a = 707).

Inghilterra, per elettrizzare degli ammalati, immaginò una macchina elettrica, che porta il suo nome e per mezzo della quale si raccolgono simultaneamente le due elettricità. Questa macchina, rappresentata dalla figura **443**, risulta di due conduttori isolati e non comunicanti fra di loro. Uno di essi porta uno strofinatore C, di cuojo, gonfiato con aria, e l'altro un pettine P munito di parecchie punte. Fra questi due conduttori trovasi un cilindro cavo di vetro M, il quale si fa girare per mezzo di una manovella, e da una parte tocca lo strofinatore, dall'altra passa assai vicino alle punte.

Quando si fa ruotare il cilindro, lo strofinatore C ed il conduttore A si elettrizzano negativamente, ed il vetro si elettrizza positivamente. Ora, quest'ultimo, rasentando le punte del conduttore B, ne decompone il fluido naturale sottraendone il fluido negativo e lasciandolo quindi elettrizzato positivamente. Due verghe curve D ed E portano alle loro estremità libere due sfere di ottone abbastanza vicine perchè ne parta costantemente una serie di scintille provenienti dalla ricomposizione delle due elettricità dei conduttori.

605. **Macchina di Van Marum.** — Van Marum costruì una macchina elettrica, per mezzo della quale si può ottenere ad arbitrio l'una o l'altra elettricità. Questa macchina, rappresentata dalle figure 444 e 445 è formata di un disco di vetro P, che gira tra quattro cuscinetti *c* fissati a sfere di ottone isolate sopra piedi di vetro. Davanti al disco trovasi un arco di ottone *a* a due rami,

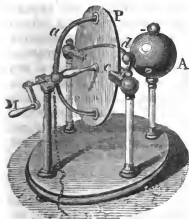
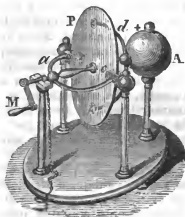



Fig. 444. ($a = 49$).   *Fig.* 445.

sostenuto dal piede che porta l'albero del disco, e che si può disporre verticalmente (fig. 444), ovvero orizzontalmente (fig. 445). Da ultimo, di contro all'altra faccia del disco, v'è una grossa sfera di ottone A, isolata sopra un piede di vetro e che porta un arco *d* eguale all'*a*, il quale può essere del pari collocato in un piano orizzontale (fig. 444), ovvero verticale (fig. 445).

Ciò posto, quando i due archi *a* e *d* sono disposti come mostra la figura 444, i due rami dell'arco *d* toccano i

cuscinetti; ma quelli dell'arco *a* sono soltanto prossimi al disco di vetro senza toccarlo. Per conseguenza, se si fa girare il disco, per mezzo della manovella M, i cuscinetti, che si elettrizzano negativamente, trasmettono la loro elettricità all'arco *d* e alla sfera A, la quale si carica per tal modo di elettricità negativa. La elettricità positiva del disco P agisce per influenza sull'arco *a* e trae dal suolo il fluido negativo, che la riduce allo stato neutro.

Al contrario, se i rami *a* e *d* sono disposti come nella figura 445, i cuscinetti, che allora comunicano col suolo per mezzo dell'arco *a*, perdono tutta la loro elettricità, mentre il disco elettrizzato positivamente, operando per influenza sull'arco *d* e sulla sfera A, ne sottrae il fluido negativo, di modo che, in questo caso, la sfera A rimane elettrizzata positivamente.

606. **Macchina idro-elettrica di Armstrong.** — La *macchina idro-elettrica* è una macchina nella quale lo sviluppo della elettricità è dovuto all'efflusso del vapore acqueo per piccoli orifizii. Questa macchina è stata inventata da Armstrong, fisico inglese, in seguito alla scoperta di un fatto nuovo osservato, nel 1840, vicino a Newcastle, sulla caldaja di una macchina a vapore. Il vapore si era aperto una via a traverso della valvola di sicurezza; la persona, che sorvegliava la macchina, mentre aveva una mano vicina al getto di vapore e dirigeva l'altra verso la leva della valvola per afferrarla, ricevette una forte scossa e vide una viva scintilla fra la leva e la propria mano.

Informato di questo fenomeno, Armstrong lo riprodusse con altre caldaje, e riconobbe che il vapore, il quale se ne sviluppava, era carico di elettricità positiva. Eseguendo l'esperimento con una locomotiva, che aveva isolata, osservò che essa si elettrizzava negativamente quando si sottraeva, per mezzo di punte metalliche, l'elettricità positiva al vapore acqueo, che sfuggiva nell'atmosfera, ed ottenne in tal modo delle fortissime scintille. Fece egli allora costruire la macchina rappresentata dalla figura 446.

Questa macchina consiste in una caldaja di lamiera di ferro, a focolare interno ed isolata su quattro piedi di vetro. La sua lunghezza è di circa $1^m,50$, ed il suo diametro di $0^m,60$. Un tubo di cristallo O, situato verticalmente sulla destra della caldaja e comunicante con essa pe' suoi due capi, indica il livello dell'acqua nell'interno. Un piccolo manometro ad aria compressa, il quale si trova

rappresensato nella figura, indica la pressione. Sulla caldaja avvi una chiavetta C, che si apre appena che il vapore abbia acquistata una tensione sufficiente. Superiormente a questa chiavetta trovasi un serbatojo B in cui circolano i tubi dai quali esce il vapore. Questi tubi sono terminati da tubi di aggiunta A di una forma particolare, rappresentati più in grande dalla sezione M alla sinistra della figura. L'interno di questi tubi d'aggiunta è di legno duro ed ha un ripiegamento, come si vede al luogo ove è disegnata la freccia, il quale serve ad aumentare l'attrito. Finalmente, la scatola B è piena d'acqua per raffreddare i tubi di efflusso. Il vapore, prima di giungere ai tubi di aggiunta, dai quali deve sprigionarsi, subisce così un principio di condensazione ed esce mescolato con vescichette di acqua, condizione necessaria, perchè, dietro gli esperimenti di Faraday, il passaggio del vapore *secco* non produce elettricità.

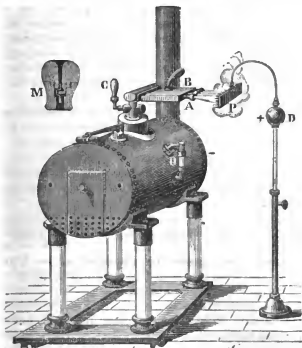



Fig. 446. ($a = 200$).

Dapprima erasi attribuito lo sviluppo della elettricità,

nella macchina idroelettrica, alla condensazione del vapore; ma Faraday, il quale eseguì numerosi esperimenti con questa macchina, ammette che lo svolgimento della elettricità sia dovuto soltanto allo strofinamento dei globuli d'acqua contro le pareti dei tubi d'aggiunta da cui escono. Di fatti, quando le altre condizioni rimangono identiche e si cangiano i piccoli cilindri di legno, che si trovano entro i tubi A, è cangiata la specie di elettricità che assume la caldaja; un tubo di avorio non dà alcuna traccia di elettricità. Lo stesso avviene quando si introduca una sostanza grassa qualunque nella caldaja; i tubi, che servono in questo caso, perdono ogni loro efficacia. Tuttavia, in generale, non avvi svolgimento di elettricità se non quando l'acqua è pura, ed allora la caldaja è elettrizzata negativamente. Aggiungendo all'acqua dell'essenza di trementina, l'effetto è inverso, cioè il vapore si elettrizza negativamente e la caldaja positivamente. L'introduzione di una soluzione salina o di un acido fa cessar tosto ogni sviluppo di elettricità.

Faraday osservò degli effetti analoghi anche con una corrente di aria umida; ma coll'aria secca non si produce alcun effetto.

ESPERIMENTI DIVERSI COLLA MACCHINA ELETTRICA.

607. **Scintilla, sgabello elettrico.** — Uno dei primi fenomeni, che si osservano quando si fanno esperimenti con una macchina elettrica, è la viva scintilla che si trae dai conduttori, avvicinando ad essi la mano. Abbiamo già veduto (596) come la causa di questo fenomeno sia l'influenza esercitata dal fluido positivo della macchina sul fluido neutro della mano. Questo essendo decomposto, l'attrazione tra il fluido positivo della macchina e il negativo della mano riesce a superare la resistenza dell'aria, ed allora i due fluidi si ricompongono con rumore e luce; la scintilla appare vivace, istantanea e accompagnata da pizzicore più o meno forte, secondo la potenza della macchina.

La forma della scintilla è variabile; quando essa scocca a piccola distanza è rettilinea, come mostra la figura 447. Ma, per una lunghezza maggiore di 6 o 7 centimetri, la scintilla diventa irregolare e presenta la forma di una curva sinuosa accompagnata da esilissime ramificazioni (fig. 448). Finalmente, se la scarica è fortissima, la scintilla

si piega a zig-zag (fig. 449). Queste due ultime forme sono presentate dai lampi delle nubi temporalesche.

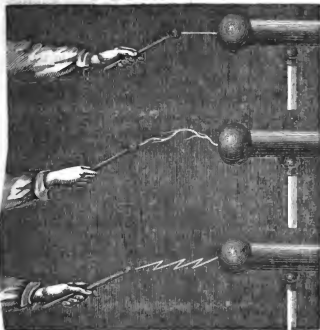



Fig. 447.

Fig. 448.

Fig. 449.

608. **Sgabello elettrico.** — La scintilla elettrica si presenta sotto un aspetto notabile, e che fa meravigliare coloro che vedono l'esperimento per la prima volta, quando venga fatta uscire dal corpo umano. A tale scopo, la persona, che si vuole elettrizzare, sale su di uno sgabello a piedi di vetro, distinto col nome di *sgabello elettrico*, e, così isolata, pone una mano sopra uno dei conduttori della macchina elettrica. Siccome il corpo umano è buon conduttore della elettricità, di mano in mano che la macchina si carica, il fluido si distribuisce simultaneamente sul corpo della persona isolata e sui conduttori; di maniera che toccando le mani, la faccia e gli abiti di questa persona, se ne traggono delle scintille come dalla macchina medesima. Fintanto che non si avvicina la mano alla persona isolata, essa non prova alcuna scossa, quantunque si trovi fortemente elettrizzata; solchè i suoi capelli si raddrizzano e si dirigono verso i corpi che loro vengono avvicinati, ed essa sente come un leggiero soffio sulle mani e sulla faccia.

Si può anche eletrrizzare una persona isolata su di uno sgabello a piedi di vetro battendola con una pelle di gatto; essa attrae allora il pendolo elettrico e dà delle scintille quando le sia avvicinata la mano. Se anche la persona che tiene in mano la pelle di gatto sale su di un altro sgabello isolante, i due sperimentatori sono elettrizzati, uno positivamente, l'altro negativamente (585).

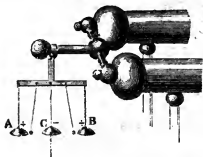



Fig. 450. ($a = 19$)

Dufay, fisico francese, trasse pel primo, nel 1734, una scintilla dal corpo umano.

609. **Scampanio elettrico, apparato per la grandine.** — Lo *scampanìo elettrico* è un piccolo apparato composto di tre campanelli sospesi ad un'asta orizzontale comunicante colla macchina elettrica (fig. 450); i campanelli A e B sono sospesi a catene metalliche, le quali stabiliscono la comunicazione coll'asta, mentre il campanello di mezzo è appeso ad un filo di seta, che lo isola dalla macchina, ma comunica col suolo per mezzo di una catenella metallica. Finalmente, fra il campanello di mezzo e gli altri due, vi sono due piccole sfere di ottone sospese a fili di seta. Ciò posto, caricando la macchina, i campanelli A e B si elettrizzano positivamente, attraggono le sfere di ottone, e, appena avvenuto il contatto, le respingono. Ora, trovandosi allora elettrizzate positivamente, queste muovonsi verso il campanello C, il quale, quantunque in comunicazione col suolo, è caricato di elettricità negativa per effetto dell'influenza degli altri due. Dopo il contatto, le due sfere sono adunque respinte verso i campanelli A e B, ed eseguiscono un movimento oscillatorio rapido da cui risultano degli urti successivi, che fanno suonare i tre campanelli per tutto il tempo in cui la macchina è caricata.

Per ispiegare come la grandine possa acquistare un peso assai considerabile prima di cadere, Volta immaginò un apparecchio fondato, come il precedente, sulle attrazioni e ripulsioni elettriche. Quest'apparato consiste in una campana di vetro disposta su di un piatto di ottone e nella quale si pongono delle piccole palle di midollo

di sambuco (fig. 451). Nel collo della campana passa, a sfregamento dolce, un' asta di ottone terminata alla estremità inferiore da una sfera della stessa sostanza e comunicante alla sua estremità superiore colla macchina elettrica. Appena che questa si carichi, la sfera che trovasi nell'apparato si elettrizza, attrae le palle di sambuco ed

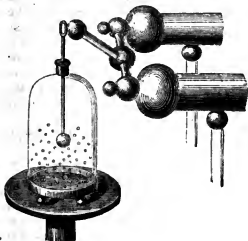



Fig. 451.

in seguito le respinge, di maniera che esse si agitano con una grande velocità balzando dal disco alla sfera e da questa cadendo sul disco, al quale cedono l'elettricità di cui si sono caricate nel toccare la sfera.

Fondandosi su di questo esperimento, Volta ammetteva che quando la grandine trovasi fra due nubi cariche di elettricità contrarie passi così successivamente dall'una all'altra, condensando allora alla sua superficie il vapore d'acqua ambiente, il quale, congelandosi, le faccia acquistare il volume assai considerabile che talora presenta; ma questa teoria, la quale è insufficiente per ispiegare la grossezza della grandine, non è più adottata.

610. **Arganetto elettrico, insufflazione.** — Chiamasi *arganetto elettrico* un piccolo apparato composto di cinque o sei raggi metallici curvati tutti nello stesso verso, terminati a punta e fissati ad un cappelletto comune, mobile su di un perno (fig. 452). Adattando quest'apparato alla macchina elettrica, appena che questa si carichi, i raggi ed il cappelletto acquistano un rapido moto di ro-

tazione in direzione opposta alle punte. Questo movimento non è un effetto di reazione paragonabile a quello dell'arganetto idraulico (84), siccome hanno ammesso parecchi fisici, ma un effetto di ripulsione fra l'elettricità delle punte e quella che esse comunicano all'aria. Il fluido elettrico, accumulandosi verso le punte, effluisce nell'aria e siccome quest'ultima trovasi allora caricata della stessa elettricità di cui sono cariche le punte, le respinge e ne viene essa pure respinta. Di fatti, si riconosce che l'arganetto elettrico non si mette in movimento nel vuoto, e, mentre ruota nell'aria, avvicinandogli una mano, si sente un leggiero soffio dovuto allo spostamento dell'aria elettrizzata.

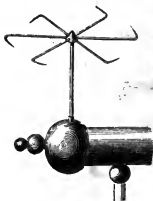



Fig. 452.

Quando l'elettricità effluisce in tal modo da una punta, l'aria elettrizzata è respinta con forza bastante per dare origine ad una corrente, la quale non solo è sensibile alla mano, ma agita e può anche spegnere la fiamma di una candela, purchè la macchina elettrica sia potente. La figura 453 mostra come si disponga questo esperimento. Si ottiene lo stesso effetto anche collocando la candela sopra uno dei conduttori e presentandole una punta metallica tenuta in mano (fig. 454). In quest'ultimo caso la corrente proviene dal flüido contrario che si sviluppa dalla punta per l'influenza della macchina.

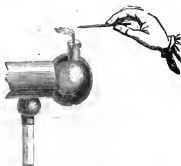



Fig. 453.

Fig. 454.

CAPITOLO IV.

ACCUMULAZIONE DELLA ELETTRICITA'.

611. Condensatori, loro teoria. — Chiamansi, in generale, *condensatori* certi apparati che servono ad accumulare, sopra superficie relativamente piccole, grandi quantità di elettricità. Se ne costruiscono di differenti specie e sono tutti fondati sul principio della elettrizzazione per influenza (594) e composti essenzialmente di due corpi conduttori separati da un coibente. Descriveremo dapprima il *condensatore di Epino.*

Quest'apparato risulta di due dischi di ottone A e C e di una lastra di vetro B, che li separa (fig. 455). Ciascuno di questi dischi è munito di un piccolo pendolo elettrico *a*, *b* ed è isolato sopra colonna di vetro. Le basi di queste colonne sono scorrevoli lungo un regolo d'ottone che le sostiene, in modo che possono ad arbitrio essere allon-

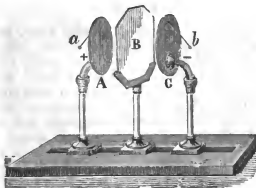



Fig. 455.

tanate od avvicinate. Quando si vogliono accumulare le due elettricità sui dischi, si pongono in contatto colla lastra di vetro, come rappresenta la figura 456; indi, per mezzo di cordoncini metallici, si fa comunicare uno di essi, per esempio C, colla macchina elettrica e l'altro col suolo.

Per intendere come l'elettricità si accumuli in questo apparato, si faccia la convenzione di chiamare facce *anteriori* dei dischi quelle che sono volte alla lasta di vetro, *posteriori* le opposte. Suppongasi, inoltre, che il disco A

sia a principio tanto distante dal disco *collettore* C, da non ricevere da questo veruna influenza. In tal caso, il disco C, posto in comunicazione colla macchina elettrica, assume una carica masssima che si ripartisce egualmente

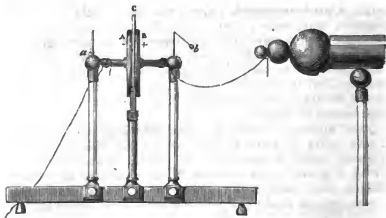



Fig. 456.

sulle due facce, e il pendolo *b* diverge assai. Se si sopprimesse la comunicazione colla macchina, non sopravverebbe alcun cambiamento; ma, avvicinando lentamente il disco A, venendo decomposto il suo fluido neutro per la influenza di C, l'elettricità negativa si porta sulla faccia anteriore *n* (fig. 457) e la positiva sfugge nel suolo. Ora, l'elettricità negativa del disco A, reagendo alla sua volta sulla positiva del disco C, l'elettricità di questo cessa di essere egualmente distribuita sulle due facce e recasi in parte sulla faccia anteriore *m*. La tensione della faccia posteriore *p*, la quale ha così perduta parte della sua elettricità, trovasi diminuita e non può più fare equilibrio alla tensione della macchina. Pertanto una nuova quantità di elettricità passa dalla macchina sul disco C, dove, operando come si è detto, decompone per influenza una seconda quantità di fluido neutro sul disco A. Quindi avviene nuova accumulazione di elettricità negativa sulla faccia *n* e perciò di positiva sulla faccia *m*. Ma ogniqualvolta la macchina trasmette elettricità al disco collettore, soltanto una parte di questa passa sulla faccia *m* mentre l'altra rimane sulla faccia *p* e perciò la tensione su quest'ultima va sempre crescendo fino a che eguaglia quella della

macchina. Partendo da questo momento si stabilisce l'equilibrio, e viene raggiunto un limite di carica che non può essere oltrepassato. Allora, sebbene la quantità di elettricità accumulata sulle due facce *m n* sia assai grande, nondimeno il pendolo *b* diverge appunto quanto divergeva allorchè il disco A era lontano; perchè, difatti, la tensione in *p* è la stessa nei due casi, quella della macchina; il pendolo *a* invece non diverge.

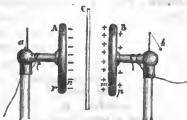



Fig. 457.

Per ispiegare l'accumulazione dell'elettricità nei condensatori, si ammise per molto tempo che l'elettricità del secondo disco A *neutralizzava* l'elettricità contraria del disco collettore, e che, divenendo allora quest'ultima *dissimulata* o *latente*, il disco C pigliava dalla macchina una nuova quantità di elettricità. Ma dalle cose sopra esposte risulta che non è necessario riferirsi ad alcuna ipotesi particolare sullo stato della elettricità per dare una teoria completa dei condensatori.

612. **Scarica lenta, scarica istantanea.** — Quando il condensatore è caricato, cioè, quando le elettricità contrarie sono accumulate sulle faccie anteriori, si interrompono le comunicazioni colla macchina elettrica e col suolo togliendo le due catene metalliche. Ora, giusta quanto si è detto precedentemente (611), il disco A è caricato di elettricità negativa soltanto sulla sua faccia anteriore *m* (fig. 457), mentre l'altra faccia è allo stato neutro. Al contrario il disco C è elettrizzato positivamente sulle due faccie, ma inegualmente, perchè l'accumulazione ha luogo soltanto sulla faccia anteriore, mentre sulla posteriore la tensione eguaglia soltanto quella della macchina al momento in cui si interrompono le comunicazioni; infatti, il pendolo *b* diverge ed *a* rimane verticale. Ma, allontanando i due dischi, si vedono i pendoli divergere ambedue (fig. 455), perchè le due elettricità contrarie non reagiscono più da un disco all'altro, e la elettricità positiva si distribuisce uniformemente sulle due facce del disco C, la negativa su quella del disco A.

Trovandosi i dischi a contatto colla lamina isolante (fig. 456), ed essendo tolte le catene, si può scaricare il condensatore, cioè ricondurlo allo stato naturale in due

maniere; con una scarica lenta o con una scarica istantanea. Per iscaricarlo lentamente si tocca col dito dapprima il disco A, cioè quello che contiene un eccesso di elettricità; tutto il fluido positivo, che non è dissimulato dal negativo del disco C, effluisce allora nel suolo, e siccome il disco C non dissimula che una quantità di elettricità minore della sua, dopo questo primo contatto la più forte carica è posseduta dal disco C; di fatti, si vede che il pendolo *a* ricade, e che il pendolo *b* diverge. Toccando in appresso il disco C, il suo pendolo ricade, mentre diverge il pendolo *a*, e così di seguito, quando si continui a toccare alternativamente i due dischi. La scarica non si opera per tal guisa che con molta lentezza, e, nell'aria asciutta, non si compie che dopo parecchie ore. Se si toccasse dapprima il disco C, che è il meno elettrizzato, non gli si sottrarrebbe punto di elettricità, poichè tutta quella che esso possiede è trattenuta da quella del disco C.

Quando si voglia scaricare istantaneamente il condensatore, si mettono i due dischi in comunicazione per mezzo dell'*eccitatore*. Si dà questo nome ad un sistema di due archi di ottone terminati da sfere della stessa sostanza e riuniti da una cerniera. Quando questi archi sono muniti di manici di vetro isolanti, come mostra la figura 458, l'apparato si distingue col nome di *eccitatore a manici di vetro;* se gli archi mancano di manici (figura 461) l'apparato chiamasi *eccitatore semplice*. Per servirsi dell'eccitatore, si applica una delle sfere sopra uno dei dischi del condensatore, indi si avvicina l'altra al secondo disco; scocca allora una viva scintilla, la quale proviene dalla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate sulle due facce del condensatore. Però, la ricomposizione non è totale, perchè si può ancora trarre, nello stesso modo, una, due o più scintille di mano in mano più deboli; onde si conclude che quando i due dischi comunicano fra di loro, le due elettricità non possono riunirsi totalmente. Questo fenomeno proviene da che le due facce della lastra di vetro, elettrizzate per influenza dei dischi metallici, reagiscono alla loro volta sopra questi ultimi e li elettrizzano di nuovo.

Fig. 458. ($a = 41$).

Quando si scarica il condensatore coll'eccitatore, anche coll'eccitatore semplice, non si prova alcuna scossa sebbene quest'ultimo sia tenuto fra le mani, perchè di due conduttori il fluido elettrico sceglie sempre il migliore; epperò la ricomposizione delle due elettricità si compie per mezzo dell'arco metallico e non a traverso il corpo dell'esperimentatore. Ma quando si tocchi con una mano una delle faccie del condensatore e si avvicini l'altra mano alla seconda faccia, la ricomposizione si effettua a traverso del braccio e del corpo, e si sente una scossa tanto più viva quanto più estesa è la superficie del condensatore e più forte la carica elettrica.

613. **Limite della carica dei condensatori.** — La quantità di elettricità che può venire accumulata sulle due faccie del condensatore, a parità delle altre circostanze, è proporzionale alla tensione della sorgente e alla superficie dei dischi; ma essa decresce al crescere della grossezza della lastra isolante. In ogni caso la quantità di elettricità, che può essere accumulata sulle faccie del condensatore, è limitata da due cause. La prima è che, crescendo gradatamente, come poc'anzi fu detto, la quantità di elettricità libera sul disco collettore, la tensione su questo disco giunge infine ad eguagliare quella della macchina, ed allora quest'ultima cessa di fornire elettricità al condensatore. La seconda causa è la limitata resistenza che la lamina interposta ai dischi presenta alla ricomposizione delle due elettricità: difatti, quando lo sforzo dei due fluidi per ricombinarsi supera la resistenza della lamina coibente, questa viene perforata, e le due elettricità si neutralizzano.

614. CALCOLO DELLA FORZA CONDENSANTE. — Si chiama *forza condensante* il rapporto tra la carica totale, che piglia il disco collettore quando è sotto l'influenza dell'altro disco e quella, che riceverebbe se fosse solo; ovvero il rapporto tra la quantità totale di elettricità del disco collettore e quella che vi rimane libera; poichè si ammette che la quantità di elettricità, la quale rimane libera sul disco collettore, è precisamente quella che piglierebbe da solo. Ciò posto, per calcolare la forza condensante, si chiami P la quantità totale di elettricità positiva sul disco collettore, N la quantità totale di elettricità negativa sull'altro disco ed α l'elettricità libera sul primo. Si ha

$$N = mP \quad (1),$$

dove m è una frazione tanto più prossima all'unità quanto più sottile è la lamina coibente frapposta ai dischi. Ora, se si tocca il disco collettore, gli si toglie la sua elettricità libera α, ed allora si scambiano le funzioni; il

secondo disco ha allora la maggiore carica, ma in modo che il rapporto delle due cariche è ancora m, poichè la lastra isolante è ancora la stessa. Adunque si ha

$$P - \alpha = mN \ (2), \text{ ovvero } P - \alpha = m^2 P \ (3),$$

sostituendo ad N il suo valore dato dalla (1). Dall'equazione (3) si deduce

$$\frac{P}{\alpha} = \frac{1}{1 - m^2},$$

il quale rapporto è la forza condensante domandata. Il valore di m si determina sperimentalmente per mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione.

615. **Quadro fulminante.** — Il *quadro fulminante* è un condensatore più semplice di quello di Epino, e più idoneo a produrre delle vive scintille e delle forti scosse. Risulta di una lastra di vetro comune incastonata in una cornice di legno. Su ciascuna delle facce di que-

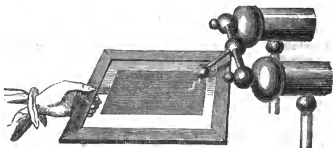



Fig. 459.

sta lastra aderisce una foglia di stagno, in modo che l'una foglia sia rimpetto all'altra, e che fra i lembi di ciascuna di esse e la cornice siavi un intervallo di circa sei centimetri. Le due foglie di stagno non comunicano fra di loro, ma una di esse comunica colla cornice mediante una listerella di stagno la quale si ripiega in A (fig. 459), in guisa di toccare il pollice della persona che tiene in mano l'apparato. Per caricare il quadro fulminante si presenta alla macchina elettrica la foglia di stagno isolata, cioè quella che non comunica colla cornice. Ponendo l'altra foglia, per mezzo della mano, in comunicazione col suolo, le due foglie si comportano assolutamente come i dischi del condensatore di Epino, e si accumulano sopra ambedue in grande quantità le elettricità contrarie.

Il quadro fulminante si scarica, come il condensatore

(612), coll'eccitatore semplice. Per ciò, tenendo in mano il quadro, si applica una delle sfere dell'eccitatore sull'estremità A della piccola lista di stagno, che è in contatto colla foglia inferiore, indi, curvando l'eccitatore, si avvicina l'altra sfera alla foglia superiore. Scocca allora una viva e rumorosa scintilla dovuta alla ricomposizione delle due elettricità, ma senza che l'esperimentatore provi la più piccola scossa, perchè questa ricomposizione si opera interamente per mezzo dell'arco metallico. Se, invece, mentre si tiene in una mano nella stessa maniera l'apparato, si tocca con un dito dell'altra la foglia isolata, si riceve una fortissima scossa, perchè allora la ricomposizione elettrica si effettua a traverso del braccio e del corpo.

616. **Bottiglia di Leyda.** — La *bottiglia di Leyda*, così detta dalla città in cui fu inventata, è dovuta all'olandese Musschembroeck (e, secondo alcuni autori, a Cuneo suo discepolo), il quale la scoprì, per caso, nel 1746. Avendo fissata un'asta metallica nel turacciolo di una bottiglia piena d'acqua, la presentò alla macchina elettrica allo scopo di elettrizzare il liquido. Ora, la mano che impugnava la bottiglia faceva l'ufficio di uno dei dischi del condensatore, mentre l'acqua rappresentava l'altro; epperò sulla parete interna si accumulò del fluido positivo, e porzione della parete esterna, che trovavasi a contatto della mano, si venne caricando di fluido negativo. Di fatti, avendo avvicinata una mano all'asta metallica, mentre l'altra impugnava tuttavia la bottiglia, Musschembroeck ricevette nel braccio e nel petto una scossa tanto forte, che scrisse poco tempo dopo a Réaumur che non avrebbe ripetuto l'esperimento per il regno di Francia.

Non pertanto, una volta conosciuto quest'esperimento molti fisici si affrettarono a riprodurlo. L'abate Nollet, professore di fisica a Parigi, pel primo sostituì all'acqua delle foglie spiegazzate di stagno, di rame, d'argento e d'oro. Un fisico inglese aveva già riconosciuto che, ricoprendo l'esterno della bottiglia con una foglia di stagno, le scosse erano molto più forti. La bottiglia di Leyda prese dunque a poco a poco la forma che le si dà oggidì, ma se ne ignorava la teoria; Franklin la fece conoscere pel primo, dimostrando che la bottiglia di Leyda, al pari del quadro fulminante, è un vero condensatore.

Rappresentata nella figura 460 all'istante in cui viene caricata, la bottiglia di Leyda risulta di una bottiglia di

vetro sottile, e la cui ampiezza varia a norma della quantità di elettricità che vuolsi accumulare. L'interno è pieno di foglie di stagno o di rame o d'oro. La parete esterna ed il fondo sono rivestiti di una foglia B di sta-

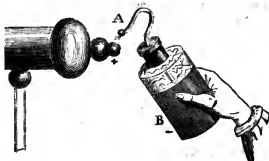



Fig. 460 ($a = 25$).

gno, la quale deve lasciare scoperto il vetro fino ad una certa distanza dall'apertura. Quest'ultima è chiusa da un turacciolo di sughero attraversato da un'asta di ottone curvata in forma di uncino e terminata da un bottone A; all'interno l'asta comunica colle foglie d'oro o di rame, che riempiono la bottiglia. Queste foglie si distinguono col nome di *armatura interna*, e la foglia B di stagno è chiamata *armatura esterna.*

La bottiglia di Leyda si carica come il condensatore di Epino e il quadro fulminante, facendo comunicare una delle armature col suolo e l'altra con una sorgente elettrica. A quest'uopo si impugna la bottiglia per l'armatura esterna, e si presenta l'armatura interna alla macchina elettrica; il fluido positivo si accumula allora sulle foglie interne, ed il fluido negativo sullo stagno. Avverrebbe il contrario quando, impugnando la bottiglia per l'uncino, si presentasse l'armatura esterna alla macchina. Del resto la teoria della bottiglia di Leyda è identica a quella del condensatore, e tutto quanto si disse di quest'ultimo (611) si applica alla bottiglia, intendendosi che le due armature della medesima fanno l'ufficio dei dischi A e C della figura 457.

Come il condensatore, la bottiglia di Leyda si scarica lentamente od istantaneamente. Per iscaricarla istantaneamente la si impugna colla mano, come rappresenta la figura 461, e si mettono in comunicazione le due arma-

ture per mezzo dell' eccitatore semplice, usando l' avvertenza di toccare *dapprima* l'armatura che si tiene in mano, altrimenti si riceve la scossa. Per iscaricarla lentamente la si isola su di un disco di resina, e si tocca alternativamente colla mano o con un' asta di metallo l'armatura interna, indi l'armatura esterna e così di seguito, traendone ad ogni contatto una piccola scintilla.

Per rendere più sensibile la scarica lenta, si dispone la

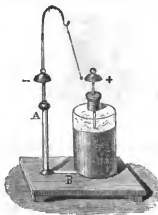



Fig. 461. *Fig.* 462.

bottiglia di Leyda come rappresenta la figura 462. L'asta è diritta e munita di un piccolo campanello; vicino alla bottiglia trovasi un' altra asta metallica, che sostiene un campanello simile al primo, ed un piccolo pendolo elettrico formato da una palla di ottone sospesa ad un filo di seta. Ciò posto, si leva colla mano la bottiglia dalla tavoletta B, impugnandone l'armatura esterna, la si carica avvicinandola alla macchina elettrica, indi la si colloca di nuovo sulla tavoletta. Siccome allora l' armatura interna contiene un eccesso di elettricità positiva non neutralizzata, il pendolo è attratto e va ad urtare contro il campanello della bottiglia, indi ne è tosto respinto, va a battere contro l' altro campanello e gli cede la sua elettricità; ma, ritornato allo stato neutro, è attratto di nuovo dal primo campanello, e così di seguito pel corso di parecchie ore, se l'aria è asciutta e la bottiglia alquanto grande.

617. **Bottiglia ad armature mobili.** — La *bottiglia ad armature mobili* serve a dimostrare che nella

bottiglia di Leyda, ed in generale in tutti i condensatori, le due elettricità contrarie non risiedono soltanto sulle armature, ma specialmente sulle facce del vetro interposto. Questa bottiglia, i cui diversi pezzi possono essere separati, risulta di un grande recipiente conico di vetro B (fig. 463), di una armatura esterna C di latta, e di una

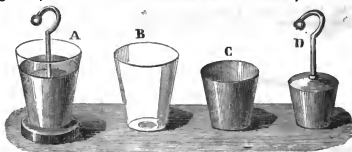



Fig. 463.

armatura interna D della stessa sostanza. Questi pezzi collocati l'uno entro l'altro, come mostra la figura A, costituiscono una bottiglia di Leyda. Dopo di averla elettrizzata come la bottiglia ordinaria ed isolata su di un disco di resina (fig. A), si toglie colla mano l'armatura interna, indi il vase di vetro e, finalmente, l'armatura esterna, e si dispongono tutti questi pezzi l'uno accanto all'altro come rappresenta la figura 463. Ora, le due armature si trovano così evidentemente ricondotte allo stato naturale. Nondimeno se si rimette l'armatura C sul disco di resina, e, introdottovi il vase di vetro, si ripone in quest'ultimo l'armatura D, si ricostruisce una bottiglia di Leyda, la quale dà una scintilla presso a poco così viva come se non si fossero scaricate le due armature.

Per ispiegare questo fenomeno si ammette ordinariamente che le due elettricità, obbedendo alla reciproca attrazione, abbandonino le due armature versandosi sulle due faccie del vetro, dalle quali in seguito ritornano sulle armature quando queste si fanno comunicare tra loro. Ma questo fenomeno, come si è già veduto rispetto alla scarica dei condensatori (612), deve piuttosto spiegarsi collo elettrizzarsi per influenza le faccie del vetro in presenza delle armature e colla successiva reazione delle pareti del vetro sulle armature per elettrizzarle di nuovo quando vengono rimesse in posto.

618. **Giare e batterie elettriche.** — Una *giara*

è una grande bottiglia di Leyda a bocca ampia in modo che si possa attaccare alla sua parete interna una foglia di stagno, la quale serve di armatura interna. L'asta che attraversa il turacciolo è diritta e terminata, alla parte inferiore, da una catena metallica, che la mette in comunicazione colla foglia di stagno costituente l'armatura interna.

Una *batteria* è una riunione di parecchie giare collocate in una cassa di legno (fig. 464) e comunicanti in-

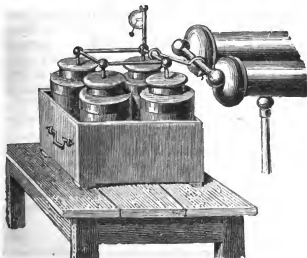



Fig. 464 ($a = 38$).

sieme, all'interno, per mezzo di aste metalliche, ed all'esterno per mezzo di una foglia di stagno, che riveste il fondo della cassa e si trova a contatto colle armature esterne delle giare. Questa stessa foglia di stagno si prolunga lateralmente fino ad incontrare due impugnature metalliche fissate sulle pareti della cassa. La batteria si carica, come mostra la figura 464, facendo comunicare le armature interne colla macchina elettrica e le esterne col suolo, per mezzo del fondo stesso della cassa e della tavola sulla quale è collocata la batteria, o meglio per mezzo di una catena metallica fissata ad una delle impugnature della cassa. Un elettrometro a pendolino, applicato ad una delle giare, serve ad indicare la carica della batteria. Malgrado la grande quantità di elettricità accumulata nell'apparato, l'elettrometro non diverge che

con molta lentezza e di un piccolo numero di gradi; il che non deve recar meraviglia, poichè le elettricità delle due armature si dissimulano per la massima parte. In generale, il numero delle giare è di quattro, sei od otto. Più esse sono ampie e numerose, e maggior tempo si richiede per caricare la batteria.

Quando si vuole scaricare una batteria, si fanno comunicare fra loro le due armature per mezzo dell'eccitatore, avendo cura di toccare dapprima l'armatura esterna. In questo caso bisogna adoperare l'eccitatore a manico di vetro ed usare tutte le precauzioni necessarie per evi-

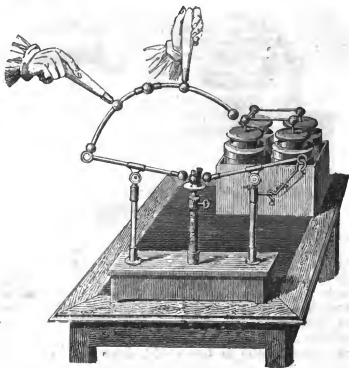



Fig. 465.

tare la scossa, perchè, con una forte batteria, questa scossa può produrre gravi accidenti ed anche la morte.

Quando si vuol fulminare un animale od un oggetto qualunque si adopera l'*eccitatore universale* disegnato nella parte anteriore della figura 465. Esso consiste in una piccola cassa di legno, che porta due colonne di vetro

sulle quali sono fissate, a cerniera, delle aste di ottone. Fra queste colonne avvi un piede di legno, il quale porta un piccolo disco su cui si colloca il corpo che deve servire all'esperimento. Dirette le due aste di ottone verso questo corpo, si fa comunicare una di esse coll'armatura esterna della batteria e l'altra con una delle sfere dell'eccitatore a manici di vetro. Avvicinando allora l'altra sfera dell'eccitatore all'armatura interna, scocca una scintilla fra questa sfera e l'armatura, ed un'altra ne scocca fra i rami dell'eccitatore universale; quest'ultima fulmina il corpo.

619. **Elettrometro condensatore di Volta.** — L'*elettrometro condensatore*, immaginato da Volta, non è altro che l'elettrometro a foglie d'oro già descritto (598), reso molto più sensibile per l'aggiunta di due dischi condensatori. L'asta di ottone, che porta le foglioline d'oro, invece di essere terminata, alla parte superiore, da una sfera di ottone, sostiene un disco della stessa sostanza

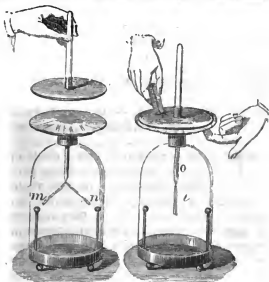



Fig. 467. *Fig.* 466 ($a = 48$).

sul quale si colloca un secondo disco simile ma con manico di vetro. I due dischi sono coperti di una vernice di gomma lacca, che li isola.

Per rendere sensibili, con questo elettrometro, delle quantità anche minime di elettricità in un corpo, si fa

comunicare quest'ultimo con uno dei dischi, il quale assume allora il nome *di disco collettore,* e si mette l'altro disco in comunicazione col suolo, toccandolo col dito leggiermente bagnato (fig. 466). L'elettricità del corpo sottoposto all'esperimento si diffonde allora sul disco collettore, agisce a traverso il drappo inglese sul secondo disco e sulla mano per respingere nel suolo l'elettricità dello stesso nome, ed attrae quella di nome contrario. I due fluidi si accumulano quindi sui due dischi, assolutamente come nel condensatore di Epino (611), ma senza che avvenga divergenza delle foglie d'oro, poichè avvi dissimulazione delle due elettricità. Caricato così l'apparecchio, se si allontana dapprima il dito, indi la sorgente di elettricità, non si produce alcuna divergenza: ma, sollevando il piatto superiore (fig. 467), la dissimulazione cessa, e l'elettricità del secondo disco, distribuendosi equabilmente sull'asta e sulle foglie d'oro, queste ultime divergono assai. Si aumenta la divergenza adattando al piede dell'apparato due aste di ottone terminate da due sfere pure di ottone *m* ed *n*, perchè queste sfere, elettrizzandosi per l'influenza delle foglie d'oro, reagiscono sulle foglie medesime.

EFFETTI DIVERSI DELL'ELETTRICITA' STATICA.

620. **Effetti fisiologici.** — Gli effetti della elettricità statica si dividono in effetti fisiologici, luminosi, calorifici, meccanici e chimici.

Gli *effetti fisiologici* sono quelli che l'elettricità produce sugli animali viventi od anche tosto dopo privati di vita. Nei primi questi effetti consistono in una violenta eccitazione, che esercita il fluido elettrico sulla sensibilità e contrattilità dei tessuti organici da essa attraversati, e nei secondi, in contrazioni muscolari istantanee come se l'animale ritornasse in vita. Per ora non parleremo che delle azioni fisiologiche esercitate dalla elettricità statica a forte tensione; più innanzi descriveremo gli effetti fisiologici della elettricità dinamica.

Ci è già nota la scossa, che dà la scintilla della macchina elettrica (607). Questa scossa acquista una intensità assai maggiore ed un carattere particolare, quando si trae la scintilla dalla bottiglia di Leyda toccandone con una mano l'armatura esterna e coll'altra l'interna. Con una piccola bottiglia la scossa si fa sentire sino al gomito; con

una bottiglia della capacità di un litro si sente la scossa sin nella spalla, e devonsi evitare scosse più forti.

La bottiglia di Leyda può dare simultaneamente la scossa a moltissime persone. Perciò, queste devono *formare la catena*, cioè tenersi tutte per mano l'una in seguito all'altra; indi, mentre la prima tocca l'armatura esterna di una bottiglia già carica e l' ultima tocca successivamente il bottone dell'armatura interna, tutte ricevono simultaneamente la scossa, che si può graduare come si vuole, caricando più o meno la bottiglia. L'abate Nollet trasmise in questo modo la scarica ad un reggimento intero, e mille cinquecento uomini sentirono nello stesso tempo una scossa violenta nelle braccia e nel petto.

Fig. 468 ($a = 120$).

Colle grandi bottiglie di Leyda e colle batterie la scossa non può essere ricevuta impunemente. Priestley uccise dei ratti con batterie le cui armature avevano ognuna una superficie totale di 63 decimetri quadrati, e dei gatti con batterie le cui armature avevano la superficie di 3 metri quadrati e mezzo.

621. **Effetti luminosi.** — La ricomposizione delle due elettricità a forte tensione avviene sempre con isviluppo di luce più o meno viva, come si vede quando si traggono delle scintille dalla macchina elettrica, dalla bottiglia di Leyda e dalle batterie. Lo splendore della luce elettrica è tanto più vivo quanto più i corpi, fra i quali avviene l'esplosione, sono buoni conduttori; il colore poi varia non solo colla natura di questi corpi, ma coll' atmosfera ambiente e colla pressione.

La scintilla che scocca fra due cilindretti di carbone è gialla; fra due palle di ottone inargentate è verde; fra due palle di legno o d'avorio è cremesi. Nell'aria, alla pressione ordinaria, la scintilla elettrica che si ottiene fra due palle di ottone è bianca e brillante; in un'aria rarefatta è rossastra, e nel vuoto violacea; e ciò proviene dall'essere tanto più debole la resistenza che si oppone alla ricomposizione delle due elettricità, quanto minore è la

tensione. Nell'acido carbonico la scintilla è bianca come nell'aria, nell'idrogeno è rossastra, e verde nel vapore di mercurio. In generale, la scintilla è tanto più vivace quanto più è grande la tensione. Fusinieri fece conoscere che nella espolsione della scintilla elettrica avvi sempre trasporto di particelle materiali in uno stato di estrema tenuità; epperò si deve conchiudere che le modificazioni presentate dalla luce elettrica sono dovute alla materia ponderabile trasportata.

Si studiano gli effetti della pressione dell'aria sulla vivacità della luce elettrica per mezzo dell'*uovo elettrico.* Si dà questo nome ad un globo di vetro, sostenuto da un piede di ottone, nel quale trovansi due aste, pure di ottone, terminate da una sfera (fig. 468). L'asta inferiore è fissa e la superiore scorre a sfegamento in una scatola a cuojo in modo da poter essere avvicinata all'altra od esserne allontanata ad arbitrio. Ciò posto, essendo fatto il vuoto nel globo per mezzo della macchina pneumatica sulla quale esso si può fissare a vite, si fa comunicare l'asta superiore con una potente macchina elettrica ed il piede col suolo. Caricando allora la macchina, si osserva, tra una palla e l'altra, una luce violacea poco intensa e continua, la quale è dovuta alla ricomposizione del fluido positivo della sfera superiore col fluido negativo della sfera inferiore. Lasciando rientrare l'aria a poco a poco, per mezzo di una chiavetta adattata al piede dell'apparato, la tensione aumenta colla resistenza, e la luce, la quale diventa bianca e brillante, non si mostra più che sotto la forma della scintilla ordinaria.

622. **Tubo, quadro e bottiglia scintillanti.** — Il tubo scintillante risulta di un tubo di vetro della lunghezza di circa un metro, sul quale si fece aderire una serie di fogliette di stagno tagliate in forma romboidale e disposte ad elice lunghesso il tubo, in modo da lasciare fra loro soltanto delle piccolissime soluzioni di continuità. Alle estremità di questo tubo sono adattate due viere di ottone munite di un uncino e comunicanti coi due estremi dell'elice. Ciò posto, se, mentre tiensi il tubo ad una delle estremità, si presenta l'altra alla macchina elettrica, come mostra la figura 469, ad ognuna delle soluzioni di continuità scoccano simultaneamente delle scintille; che producono una striscia luminosa, la quale, specialmente nella oscurità, riesce brillante.

Il quadro magico, fondato sullo stesso principio del tubo

scintillante, risulta di una lastra di vetro comune sulla quale si fissa una lista di stagno assai stretta, piegata molte volte parallelamente a sè stessa, come mostra il segno nero rappresentato nella figura 470. Sopra questa li-

Fig. 469.

sta si fanno con uno stromento tagliente delle piccolissime soluzioni di continuità, disposte in modo da rappresentare un oggetto determinato, per esempio, un portico, un fiore, ecc.; indi, fissando la lastra fra due colonne di vetro, si mette l'estremità superiore della lista in comunicazione colla macchina elettrica e l'altra col suolo. Facendo allora

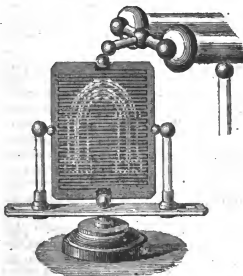



Fig. 470.

ruotare il disco della macchina, la scintilla scocca a ciascuna soluzione di continuità e riproduce, in linee di fuoco, l'oggetto di cui si disegnò sul vetro la figura.

La *bottiglia scintillante* è una bottiglia di Leyda, l'armatura esterna della quale è formata di uno strato di vernice sulla cui superficie si fece aderire una polvere metallica. Una lista di stagno, fissata al lembo inferiore della bottiglia, è in comunicazione col suolo per mezzo di una catena metallica (fig. 471); una seconda lista, situata più in alto, porta un'appendice, la cui estremità superiore è distante solo di circa due centimetri dall'uncino, il quale è assai curvo. A misura che si carica la macchina elettrica, alla quale trovasi sospesa questa bottiglia, scocca la scintilla fra l'uncino e l'armatura, e lunghe e brillanti scintille lampeggiano su tutto il contorno dell'apparato.

Fig. 471.

623. **Effetti calorifici.** — La scintilla elettrica non solo è luminosa, ma è anche una sorgente di calore assai intenso. Attraversando i liquidi combustibili, siccome l'alcoole e l'etere, li infiamma; agisce nello stesso modo sulla polvere da cannone, sulle sostanze resinose polverizzate, e fonde anche i metalli; ma per produrre quest'ultimo effetto è necessaria una batteria potente. Una ordinaria bottiglia di Leyda basta per accendere l'alcoole o l'etere, col mezzo del piccolo apparato che rappresenta la figura 472. Esso risulta di un piccolo vase di vetro, il cui fondo è attraversato da un'asta di ottone terminata da una sfera e fissata ad un piede della stessa sostanza. Dopo di aver versato il liquido nel vase in modo che la sfera ne sia interamente coperta, si presenta a quest'ultima l'uncino di una bottiglia di Leyda caricata, avendo cura di far comunicare il piede di ottone coll'armatura esterna per mezzo di un filo metallico. Questo filo ed il piede del vase fanno l'ufficio di eccitatore, e la scintilla scocca a traverso del liquido e lo infiamma. Coll'etere l'esperimento riesce benissimo; perchè riesca coll'alcoole bisogna che questo sia previamene riscaldato.

Quando si faccia passare la scarica di una batteria a traverso di un filo sottilissimo di ferro o di acciajo questo filo diventa incandescente ed abbrucia con luce abbigliante. I fili di platino, d'oro, d'argento vengono fusi e volatilizzati. Wan Marum, con una forte macchina a due dischi ed una potente batteria, fuse un filo di ferro lungo 16 metri.

Fig. 472.

Sottoponendo alla scarica di una batteria una foglia d'oro isolata fra due lamine di vetro o fra due nastri di seta, l'oro si volatilizza e si ha per residuo una polvere violetta, la quale risulta unicamente di oro diviso. In tal modo si ottengono i *ritratti elettrici*.

624. **Effetti meccanici**. — Gli effetti meccanici sono lacerazioni, rotture, espansioni violente che produce nei corpi poco conduttori il passaggio di una forte scarica elettrica. Il vetro viene forato; il legno, le pietre vengono spezzati; i gas ed i liquidi fortemente scossi. Gli effetti meccanici della scintilla elettrica si dimostrano con diversi apparati, quali sono il *buca-vetro*, il *buca-carta*, il *termometro di Kinnersley* e l'*eccitatore universale*.

Il buca-vetro, rappresentato dalla figura 473, risulta di due colonne di vetro, le quali, mediante una traversa orizzontale, ostengono un conduttore B terminato in punta. La lastra di vetro A, che vuolsi traforare, si appoggia su di un tubo isolante di vetro, entro il quale avvi un secondo conduttore terminato anch'esso in punta. Dopo di aver messo quest'ultimo in comunicazione, mediante un filo metallico, coll'armatura esterna di una forte bottiglia di Leyda, si avvicina l'uncino della bottiglia al bottone col quale termina il conduttore B. La scintilla scocca allora fra i due conduttori, ed il vetro viene traforato. Però, con una bottiglia di Leyda, che non sia molto ampia, quest'esperimento riesce sol quando si adoperi una lastra di vetro assai sottile; con una batteria, il vetro viene facilmente traforato. Lo stesso apparato serve benissimo anche come buca-carta.

Lo scuotimento e l'espansione istantanea che la scintilla produce nei gas si dimostrano col termometro di Kin-

nersley. Quest'apparato risulta di un tubo di vetro a grosse pareti, congiunto alle due estremità per mezzo di mastice con due viere di ottone, che lo chiudono esattamente e sostengono due conduttori terminati da sfere, uno

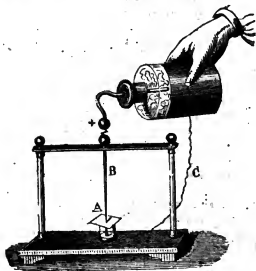



Fig. 473.

dei quali è fisso, mentre l'altro si può far scorrere ad arbitrio in una scatola a cuojo (fig. 474). Dalla base dell' apparato diramasi un secondo tubo laterale aperto alla sua parte superiore. Ciò posto, levata la scatola a cuojo, si versa dell'acqua nel tubo più ampio fino a tanto che il livello giunga un po'al di sotto della sfera inferiore; in seguito si chiude la scatola a cuojo e si fa passare la scarica di una bottiglia di Leyda fra le due sfere, operando come mostra la figura. L'acqua, istantaneamente respinta fuori del tubo più ampio, si innalza nel più piccolo di circa due centimetri; ma tosto dopo l'equilibrio si ristabilisce, e ciò dimostra che il fenomeno non è cagionato da un innalzamento di temperatura, e che quindi non è giusta la denominazione di termometro applicata a questo apparato.

L'eccitatore universale, che abbiamo già descritto nel parlare delle batterie e che è rappresentato dalla fig. 465, serve anch'esso ad ottenere degli effetti meccanici. Quando,

per esempio, si voglia lacerare un pezzo di legno, lo si dispone sul piccolo piatto su cui si è rappresentato un

Fig. 474 ($a = 25$).

uccello, e gli si pongono a contatto le due sfere dei conduttori. Facendo allora passare la scarica, nel modo che dimostra la figura, il legno si riduce in minuti frammenti.

625. **Effetti chimici.** — Gli effetti chimici della elettricità sono combinazioni e decomposizioni determinate dalla ricomposizione dei due fluidi elettrici nei corpi. Quando, per esempio, due gas trovansi mescolati presso a poco nel rapporto secondo il quale avviene la loro combinazione, una sola scintilla è sufficiente per determinarla; ma se la mescolanza è fatta in un rapporto molto diverso, la combinazione non si effettua che per mezzo di una lunga serie di scintille. Priestley riconobbe pel primo che, continuando per molto tempo a far passare delle scintille elettriche a traverso di una limitata quantità di aria atmosferica, il volume del gas diminuisce e la tintura di tornasole introdotta nel vase, che lo contiene, diventa rossa. Cavendish, avendo ripetuto con diligenza questo esperimento, trovò che alla presenza dell'acqua o delle basi si produceva dell'acido azotico, risultante dalla combinazione dell'ossigeno coll'azoto dell'aria.

Molti gas composti si alterano nella chimica loro natura per l'azione successiva della scintilla elettrica. L'idrogeno carbonato, l'acido solfidrico e l'ammoniaca si decompongono compiutamente; l'acido carbonico va soggetto soltanto ad una parziale decomposizione, risolvendosi in ossigeno ed in ossido di carbonio. La scintilla della macchina decompone anche gli ossidi metallici, l'acqua, i sali; però, l'elettricità statica è inetta a produrre quegli effetti chimici sì energici e svariati, che vengono manifestati dalla elettricità dinamica.

626. **Pistola di Volta**. — La pistola di Volta è un piccolo apparato, che serve a dimostrare gli effetti chimici della scintilla elettrica, e risulta di un vase di latta (fig. 475) che si chiude esattamente con un turacciolo di sughero, dopo di avervi introdotta una mescolanza detuonante, formata di due volumi di gas idrogeno e di un volume di gas ossigeno. Sulla parete laterale di questo vase avvi una tubulatura, nella quale passa un'asta me-

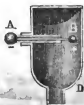
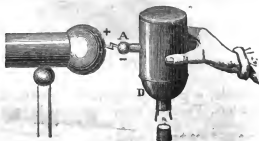



Fig. 475. *Fig.* 476 ($a = 11$).

tallica terminata da due piccole sfere A e B, e fissata, per mezzo di mastice, in un tubo di vetro che la isola dal resto dello strumento.

Ciò posto, si avvicina lo strumento alla macchina elettrica, tenendolo in mano nel modo rappresentato dalla figura 476. La sfera A si elettrizza allora negativamente per influenza e la sfera B positivamente, per cui la scintilla scocca tra la sfera A e la macchina, e nello stesso istante scocca una seconda scintilla fra la sfera B e la parete del vase, il quale comunica col suolo per mezzo della mano. Quest'ultima scintilla determina la combinazione dei due gas. Siccome questa combinazione è accompagnata da un vivo svolgimento di calorico (393), il vapore acqueo, che si produce, acquista una tal forza espan-

siva che il turacciolo viene slanciato lontano con grande violenza, e con una detuonazione analoga a quella di un colpo di pistola.

627. **Eudiometro.** — Gli *eudiometri*, dei quali si fa uso in chimica per analizzare i gas, sono strumenti fondati essi pure sugli effetti chimici della elettricità.

Questi apparati subirono varie modificazioni; la fig. 477 rappresenta il più semplice eudiometro. Esso è formato con una campanella di vetro di pareti molto grosse; l'estremità chiusa della campanella è attraversata da un'asta di ferro o di ottone terminata da due sfere *m* ed *n*, una esterna e l'altra interna. Vicino a quest'ultima trovasi

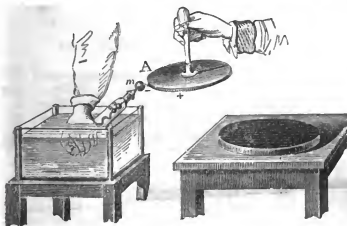



Fig. 477.

un'altra sfera *a* fissata ad un filo di ferro o di ottone avvolto a spira, e che giunge fino all'estremità aperta dell'eudiometro.

Per analizzare con questo strumento un gas, per esempio, l'aria, lo si riempie dapprima di acqua, poi lo si pone coll'apertura in basso sopra una vasca piena dello stesso liquido e vi si introducono, per mezzo di un imbuto, 100 volumi d'aria e altrettanti di idrogeno, misurandoli con un tubo graduato. Si chiude poi l'eudiometro, come mostra la figura, col pollice, che si ha cura di porre in comunicazione col filo ad elice interno. Se un'altra persona viene allora ad avvicinare alla sfera *m* il disco di un elettroforo (599), passa la scintilla tra questa sfera e il

disco A, e simultaneamente scocca un'altra scintilla fra le due sfere *n* ed *a*. Quest' ultima determina la chimica unione dell' ossigeno coll'idrogeno contenuti nell' eudiometro i quali, combinandosi, svolgono viva luce e producono dell' acqua. Allora, fatto passare entro un tubo graduato il gas che rimane nello strumento, si trova che, sotto una pressione eguale alla primitiva, il volume di questo gas è 137; dunque 63 parti dei gas mescolati si unirono chimicamente tra loro per ridursi in acqua, e siccome si sa che l'acqua è formata di due volumi di gas idrogeno per ogni volume di gas ossigeno, ne segue, che un terzo di 63, ossia 21 è il volume del gas ossigeno contenuto in ogni 100 volumi di aria.

LIBRO X

ELETTRICITA' DINAMICA.

CAPITOLO I.

PILA VOLTIANA; SUE MODIFICAZIONI.

628. **Esperimento e teoria di Galvani.** — Devesi e Galvani, professore di anatomia a Bologna, l'esperimento fondamentale, che condusse alla scoperta dell'elettricità dinamica (577) o del *galvanismo*, nuovo ramo di fisica tanto importante per le numerose applicazioni, che se ne fecero da un mezzo secolo in qua.

Galvani studiava da parecchi anni l'influenza della elettricità sulla irritabilità nervosa degli animali e specialmente della rana, quando, nel 1786, osservò che i muscoli della coscia di una rana morta posti in comunicazione coi nervi lombari, per mezzo di un circuito metallico, si contrassero con violenza.

Per ripetere l'esperimento di Galvani, si scortica una rana viva e la si taglia al di sotto delle estremità anteriori (fig. 478), indi, dopo avere isolati i nervi lombari, i quali decorrono ai lati della colonna vertebrale sotto forma di cordoncini bianchi, si prende un conduttore metallico formato di due archi, l' uno di zinco e l' altro di rame, e, introducendone uno tra i nervi e la colonna vertebrale, si porta l'altro a contatto coi muscoli di una coscia o di una gamba. Ad ogni contatto i muscoli si contraggono e si agitano, e sembra che questa mezza rana riacquisti la vita e tenti saltare.

Galvani, il quale aveva già riconosciuto nel 1780 che l'elettricità della macchina elettrica produceva sulle rane morte delle contrazioni analoghe, attribuì il fenomeno or-

ora descritto all'esistenza di una elettricità inerente all'animale, e, considerando il muscolo come una bottiglia di Leyda ed il nervo come un conduttore semplice, ammise che, al momento della contrazione, il fluido positivo circolasse dal nervo al muscolo attraverso al circuito metallico e dal muscolo al nervo nel corpo della rana.

Molti scienziati, e specialmente i fisiologi adottarono la teoria ammessa da Galvani sotto il nome di *elettricità animale* o di *fluido galvanico;* altri sorsero a respingerla e tra questi oppositori il più ardente fu Volta, professore di fisica a Pavia, già conosciuto per l'invenzione dell'elettroforo, dell'elettrometro condensatore e dell'eudiometro.

629. **Esperimento di Volta.** — Galvani aveva posto mente soltanto ai nervi ed ai muscoli della rana; Volta prese in considerazione i metalli, che servono a stabilire la comunicazione. Fondandosi sul fatto già osservato da

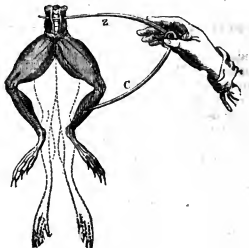



Fig. 47*.

Galvani, che la contrazione muscolare è molto più energica quando l'arco invece di risultare di un solo metallo è composto di due, Volta attribuì il fenomeno della contrazione all'azione dei metalli. Egli ammetteva che, in conseguenza del loro contatto, si sviluppasse dell'elettricità, e che le parti animali facessero soltanto l'ufficio di conduttore ed insieme di elettroscopio assai sensibile.

Parve infatti che Volta, per mezzo dell'elettrometro con-

densatore poco prima da lui inventato, mostrasse con numerose esperienze lo svolgimento di elettricità col contatto dei metalli. Ne citeremo una sola facile a ripetersi. Si colloca il dito bagnato sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 466), poi si tocca il piatto inferiore con una lastra di rame *c* saldata ad altra di zinco *z*, che si tiene in mano. Interrompendo in seguito le comunicazioni e sollevando il disco superiore (fig. 467), le foglie d'oro divergono, e si riconosce che sono elettrizzate negativamente, il che conduce ad ammettere che, dei due metalli saldati insieme, il rame si è caricato di elettricità negativa e lo zinco di elettricità positiva. Del resto in questi esperimenti la elettricità non può essere attribuita all'attrito o alla pressione, poichè se, rovesciando la lastra *cz*, si tocca il disco del condensatore, che è di rame, colla lastra di zinco *z*, tenendo in mano quella di rame *c*, che le è saldata insieme, non si ottiene alcuna traccia di elettricità.

S'impegnò allora una memorabile lotta tra Volta e Galvani. Quest'ultimo, sostenendo con profondo convincimento la sua teoria dell'elettricità animale, mostrò che per la produzione del fenomeno non era indispensabile la presenza di due metalli, e che si ottengono delle contrazioni ponendo sopra un bagno di mercurio purissimo una rana morta e preparata di fresco. Finalmente, fece vedere che, avvicinando i nervi lombari della rana ai muscoli crurali, si produce, al momento del contatto, una viva contrazione. Ora, in quest'ultima esperienza i metalli non avevano più veruna parte, e sembrava vittoriosa la teoria di Galvani; ma Volta la contrastò allora col dare maggiore estensione alla sua teoria del contatto e collo stabilire questo principio generale che *due sostanze eterogenee quali si vogliano, poste in contatto, si costituiscono sempre l'una allo stato di elettricità positiva l'altra a quello di elettricità negativa.*

Nonpertanto, Galvani fece un ultimo esperimento nel quale era impossibile ammettere un effetto di contatto, perchè si facevano toccare fra loro soltanto delle sostanze omogenee. Collocò sopra un disco di vetro una coscia di rana munita del suo nervo lombare, e di fianco ad essa una seconda coscia situata nello stesso modo; avendo posto il nervo della seconda su quello della prima, di maniera che il contatto si limitasse ai soli nervi, fece toccare tra loro le due coscie ed ottenne una forte contrazione. Galvani era giunto adunque a dimostrare l'esistenza della

elettricità animale messa in chiara luce a' nostri giorni da Matteucci sotto il nome di *corrente propria* della rana.

630. **Teoria di Volta.** — Volta, che era fisico più che fisiologo, e aveva preso di mira le sole condizioni fisiche del problema, rifiutò la teoria della elettricità animale ed ammise esclusivamente quella del contatto, la quale può formolarsi nei due principii seguenti:

1.° Il contatto di due corpi eterogenei dà sempre origine ad una forza, che Volta denominò *forza elettro-motrice,* la quale ha per carattere non solo di decomporre una parte della loro elettricità naturale, ma di opporsi pur anche alla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate sui due corpi in contatto.

2.° Quando due sostanze eterogenee sono a contatto, la differenza dei loro stati elettrici è costante per gli stessi corpi, qualunque sia la condizione in cui si trovano, ed è eguale alla forza elettro-motrice. Cioè, se si toglie ai due corpi o si comunica loro una quantità qualunque di elettricità, la differenza dei loro stati elettrici relativi non è modificata; nel primo caso la forza elettro-motrice riproduce immediatamente una quantità di elettricità eguale a quella che ne fu sottratta; nel secondo, l'eccesso di elettricità comunicata si distribuisce egualmente sui due corpi, d'onde risulta che la differenza dei due stati elettrici rimane costante. Se, per esempio, si collocano in contatto due dischi, l'uno di zinco e l'altro di rame, ambedue isolati, e si rappresenta con $+1$ l'elettricità positiva dello zinco, e con -1 la negativa del rame, indi si comunica a questo sistema una quantità 20 di elettricità positiva, si avrà sullo zinco $20+1$, ossia 21, e sul rame $20-1$, cioè 19. Ora la differenza tra i due stati elettrici primitivi $+1$ e -1 era 2, come 2 è ancora la differenza tra 21 e 19.

Siccome parve che la forza elettro-motrice ammessa da Volta non sviluppasse la stessa quantità di elettricità al contatto di tutte le sostanze, questo fisico divise i corpi in *buoni elettro-motori* ed *elettro-motori deboli.* Nella prima classe si trovano i metalli ed il carbone, che sia stato sottoposto ad una temperatura molto elevata; nella seconda i liquidi ed, in generale, i corpi non metallici. Nè tutti i metalli sono egualmente buoni elettro-motori; lo zinco ed il rame saldati insieme sono i migliori elettro-motori. Finalmente, la specie di elettricità sviluppata varia colla natura delle sostanze. Lo zinco, il ferro, lo stagno, il piom-

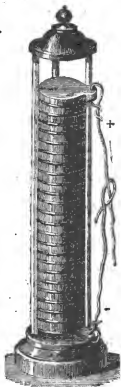
bo, il bismuto e l'antimonio si elettrizzano positivamente in contatto col rame, e, nello stesso caso, l'oro l'argento ed il platino si elettrizzano negativamente.

Fondandosi sulla teoria del contatto, Volta fu condotto ad inventare quel meraviglioso apparato, che ne rese il nome immortale. Però questa teoria, come quella di Galvani, incontrò ben presto degli oppositori, ed oggidì, come vedremo più innanzi (640), si fa dipendere dalle azioni chimiche lo svolgimento di elettricità, che Volta attribuiva unicamente al contatto.

631. **Pila di Volta.** — Si dà il nome generico di *pila* a tutti gli apparati, che servono a sviluppare l'elettricità dinamica. Il primo apparato di questo genere, inventato da Volta nel 1800, è composto di una serie di dischi sovrapposti gli uni agli altri nell'ordine seguente: un disco di rame, un disco di zinco ed una rotella di pannilano bagnato; poi un altro disco di rame, un disco di zinco ed un'altra rotella simile alla prima, e così di seguito, sempre nel medesimo ordine, sovrapponendoli come mostra la fig. 479. Quindi ne venne la denominazione di *pila*, la quale si conservò quantunque questo apparato abbia ricevute disposizioni affatto differenti. Ordinariamente si saldano insieme a due a due i dischi di rame e di zinco in modo di formare delle coppie separate dà rotelle umide e mantenute in colonna verticale col mezzo di tre cilindri di vetro, come mostra la figura. Questo apparato ebbe per la sua forma il nome di *pila a colonna*.

Fig. 479.

La distribuizione dell'elettricità in questa pila è diversa secondo che essa trovasi isolata soltanto ad uno dei capi, come avviene quando posa sul suolo, ovvero è isolata a' due capi, come allorquando la si colloca sopra un disco di vetro o di resina.

Nel primo caso mostra l'esperienza che l'estremità comunicante col suolo è allo stato naturale, ed il resto della pila ha una sola specie di elettricità, la quale è positiva

o negativa secondo che l'estremità comunicante col suolo è uno dei dischi di rame ovvero di zinco. La tensione poi dovrebbe crescere, secondo la teoria di Volta (630, 2.°), proporzionalmente al numero delle coppie; ma l'esperienza dimostra che l'incremento è minore di quello indicato dalla teoria.

La distribuzione dell'elettricità nella pila isolata ai due estremi è differente. In questo caso, per mezzo dell'elettrometro, si riconosce che la parte media trovasi allo stato naturale, che una delle metà della pila è carica di elettricità positiva, e l'altra di negativa, e che la tensione cresce partendo dal mezzo sino alle estremità. Quella metà che termina con uno zinco è carica di elettricità positiva, e quella terminata da un rame è carica di elettricità negativa. Nella teoria chimica della pila (642) vedremo quale sia la causa di questa distribuzione della elettricità nella pila.

632. **Tensione della pila.** — La tensione di una pila è la tendenza della elettricità accumulata alle estremità a svilupparsi ed a vincere gli ostacoli, che si oppongono alla sua diffusione. Non si deve confondere la *tensione* di una pila colla *quantità* di elettricità ch'essa può sviluppare. La tensione dipende principalmente dal numero delle coppie, mentre la quantità di elettricità, quando le altre circostanze sieno identiche, dipende dalla superficie delle coppie. Quanto più grande è questa superficie, tanto maggiore, a tensione eguale, è la quantità di elettricità che circola nella pila. Questa quantità cresce anche colla conduttività del liquido interposto fra le coppie. La tensione, al contrario, è indipendente dalla natura di questo liquido.

Eccettuato il caso in cui il numero delle coppie sia assai grande, la tensione, alle estremità della pila, è sempre molto più debole che nelle macchine elettriche. In fatti, ogni estremità da sola non dà scintilla, e non attrae nemmeno i corpi leggieri. La tensione non può rendersi sensibile se non col mezzo dell'elettrometro condensatore a foglie d'oro. A questo effetto si fa comunicare uno dei piatti dell'elettrometro con una delle estremità della pila, e l'altra col suolo; allora l'apparato si carica istantaneamente, e, interrompendo le comunicazioni, si vedono divergere le foglie d'oro. Si può anche, caricare una bottiglia di Leyda, facendone comunicare l'armatura interna con una delle estremità della pila e l'esterna coll'altra; ma questa carica è molto più debole di quella che dà la macchina elettrica.

633. Poli, elettrodi, corrente. — In una pila chiamasi *polo positivo* l'estremità alla quale tende ad accumularsi il fluido positivo, e *polo negativo* quella ove tende a raccogliersi il negativo. Il polo positivo si ha nell'ultimo zinco e il negativo nell'ultimo rame; ma siccome si è veduto (631) che nella pila a colonna si può sopprimere l'ultimo zinco senza alterare la distribuzione della elettricità, e in tal caso ognuno dei due poli corrisponde ad un rame, e siccome altrettanto si incontra nelle varie pile che ci rimangono ad esaminare, ne risulterebbe una confusione se si indicassero i poli coi metalli ai quali essi corrispondono. Non è dunque la qualità del metallo ultimo della pila che determina il polo, ma piuttosto l'ordine degli elementi. Il polo positivo è sempre l'estremità a cui sono volti gli elementi di zinco delle coppie tutte, e il negativo l'estremità a cui sono volti tutti gli elementi di rame.

Si chiamano *elettrodi* o *reofori* due fili metallici fissati ai poli della pila (fig. 479) e destinati a farli comunicare tra loro, in modo che le estremità di questi fili diventano esse medesime i poli.

Finalmente, denotasi col nome di *corrente* la ricomposizione delle elettricità contrarie, che si effettua da un polo all'altro di una pila quando comunicano tra loro per mezzo di elettrodi formati con un corpo conduttore qualunque. Gli effetti delle pile dimostrano che le correnti sono continue, onde si desume che mentre le due elettricità si riuniscono per mezzo del filo congiuntivo, la forza elettro-motrice, o piuttosto l'azione chimica, decompone una nuova quantità di elettricità naturale.

D'ordinario si ammette in ogni corrente una direzione determinata, supponendo ch'essa trascorra dal polo positivo al polo negativo negli elettrodi, e dal polo negativo al positivo nell'interno della pila; ma questa è una semplice convenzione, perchè la ricomposizione si opera egualmente dal polo positivo al negativo e da questo a quello. In ogni caso la corrente incomincia solo all'istante in cui i poli della pila sono posti in comunicazione tra loro per mezzo di un corpo conduttore, il che si esprime dicendo che *il circuito è chiuso*. Allora cessano tutte le proprietà dell'elettricità allo stato di tensione, ma se ne appalesano delle nuove le quali caratterizzano le correnti e saranno descritte quando si parlerà degli effetti delle pile.

634. **Pila a truogoli.** — La disposizione della pila di Volta fu diversamente modificata. Quella che abbiamo già descritta (631) presenta l'inconveniente che le rotelle di stoffa, compresse dal peso dei dischi, lasciano effluire il liquido di cui sono inzuppate. Per ciò fu adottata ben tosto la *pila a truogoli*, la quale è, per così dire, una pila a colonna orizzontale. Essa si compone di una cassa rettangolare di legno rivestita internamente di un mastice isolante (fig. 480). Le lastre di zinco e di rame, saldate

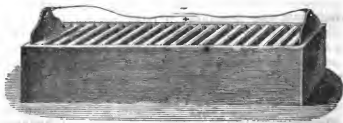



Fig. 480. ($l = 54$).

tra loro a due a due formano delle coppie, che hanno un'ampiezza eguale alla sezione interna della cassa, e sono fissate nel mastice in modo che tra una coppia e l'altra si trovi un piccolo intervallo, onde risultano tanti compartimenti o *truogoli*. In questi si versa una mescolanza di acqua e d'acido solforico, la quale produce lo stesso effetto della rotelle nella pila a colonna; i due poli comunicano tra loro per mezzo di fili metallici fissati a due piastre di rame immerse nei due truogoli estremi. La teoria di questa pila è quella stessa delle pile a colonna.

635. **Pila di Wollaston**. — La *pila di Wollaston* o *pila a tazze* è un un'altra modificazione della pila di Volta. Le piastre di zinco e di rame sono saldate unicamente ai loro lembi, e perciò le piastre di rame sono terminate da una linguetta che si salda allo zinco. Queste piastre sono ripiegate in modo che si immergono verticalmente in tazze di vetro contenenti acqua acidulata; ma le piastre di zinco e di rame che sono entro una medesima tazza appartengono a due coppie differenti (fig. 481). Partendo dalla destra della figura, una piccola lamina C, di rame, è saldata ad una grossa piastra Z, di zinco, e questi due pezzi costituiscono la prima coppia. Una seconda lamina di ra-

me *a*, di ampiezza eguale a quella dello zinco, lo circonda senza toccarlo e va a riunirsi ad una linguetta di rame *o* saldata ad un secondo zinco Z′, e forma con esso la seconda coppia. Lo zinco di questa coppia è parimenti circondato da una lastra di rame *d*, la quale è saldata ad un terzo zinco, e così di seguito fino a riunire quante coppie si vogliano. Il primo rame C, trovandosi saldato ad un zinco, rappresenta il polo negativo; il polo posi-

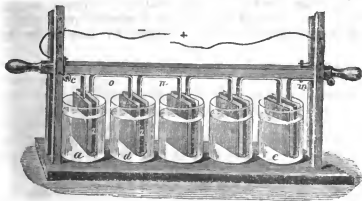



Fig. 481. ($l = 64$).

tivo poi corrisponde all'ultimo rame *m*, il quale, non essendo in contatto collo zinco, non fa che togliere al liquido il fluido positivo che gli è fornito dall'ultimo zinco. Tutte le coppie sono fissate ad una traversa di legno, la quale può essere innalzata od abbassata ad arbitrio fra quattro ritti e viene sollevata tosto che vogliasi far cessare l'azione della pila. Ordinariamente, l'acqua delle tazze contiene $1/16$ d'acido solforico ed $1/20$ di acido azotico. Quest'ultimo acido rende più costante la corrente, cedendo ossigeno all'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua ed opponendosi così ad un deposito nocivo sul rame delle coppie (643).

636. **Pila di Münch**. — Münch, professore di fisica a Strasburgo, diede alla pila di Wollaston una disposizione più semplice, immergendo tutte le coppie in un medesimo truogolo di legno coperto internamente di mastice. La figura 482, che rappresenta una pila di 20 coppie, mostra come le piastre di cui queste risultano siano unite in direzione verticale. Questa pila, sotto piccolo volume, produce degli effetti energici ma poco costanti.

Nelle diverse pile sin qui descritte si fanno le piastre di zinco più grosse di quelle di rame, perchè l'acido solforico attacca soltanto il primo di questi metalli.

637. **Pile secche.** — Le *pile secche* sono vere pile a colonna, nelle quali trovansi surrogate alle rotelle inzuppate di acqua acidulata delle sostanze solide igrometriche. Se ne costruiscono di diverse specie; nella pila di Zamboni, che è la più usitata, le sostanze metalliche elettromotrici sono lo stagno o l'argento ed il biossido di manganese. Per costruire questa pila si prende un foglio di carta inargentata o coperta di stagno ad una delle due

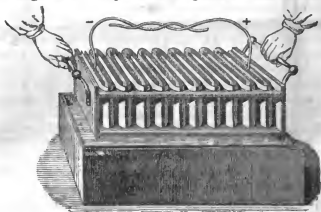



Fig. 482 ($l = 61$).

facce e si fissa sull'altra, per mezzo di un corpo untuoso, del biossido di manganese accuratamente lavato. Dopo avere sovrapposti sette od otto di questi fogli, se ne tagliano dei dischi di circa 25 millimetri di diametro e si sovrappongono questi dischi nello stesso ordine, in modo che l'argento o lo stagno di ciascun disco sia in contatto col manganese del seguente. Preparate così 1200 o 1800 coppie, si colloca sopra ciascuna estremità un disco di rame, e si stringe ben bene il sistema con fili di seta per istabilire meglio il contatto. Allora al disco di rame che trovasi in contatto col manganese corrisponde il polo positivo, ed all'altro, che è in contatto coll'argento o collo stagno, corrisponde il polo negativo.

La durata dell'azione delle pile secche è notabile, e può protrarsi per parecchi anni. L'energia di queste pile dipende molto dalla temperatura e dallo stato igrometrico dell'aria. Essa è maggiore in estate che nell'inverno, e

l'azione di un forte calore può rieccitarla quando sembra estinta. Una pila di Zamboni di 2000 coppie non dà nèi scossa nè scintilla, ma può caricare la bottiglia di Leyda e gli altri condensatori; però, a questo effetto, richiedesi un certo tempo, perchè l'elettricità non si muove nell'interno di essa che assai lentamente. Lo sviluppo di elettricità in queste pile è generalmente attribuito ad una azione chimica lenta, che risulta dalla decomposizione della sostanza organica di cui è costituita carta.

638. **Elettrometro di Bohnenberger**. — Bohnenberger costrusse un sensibilissimo elettrometro a pila secca consistente in un elettrometro condensatore (fig. 466), la cui asta porta una sola foglia d'oro sospesa ad eguali distanze dai poli contrarii di due pile secche, collocate verticalmente nell'interno della campana sul piatto che serve di base all'apparecchio. Appena la foglia d'oro possiede dell'elettricità libera, è attratta da una delle pile e respinta dall'altra, e la sua elettricità è evidentemente contraria a quella del polo verso il quale si dirige.

639. **Apparati a rotazione**. — Si costruiscono dei

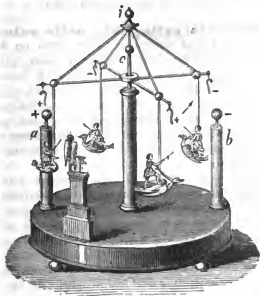



Fig. 483.

piccoli apparati a rotazione continua, il cui movimento persiste per parecchi anni. La figura 483 rappresenta un

apparato di questo genere. Due colonne d'ottone *a* e *b*, fisate sopra uno zoccolo di legno, comunicano per le loro basi l'una col polo positivo l'altra col negativo di una forte pila secca collocata orizzontalmente al di sotto dello zoccolo. Questa pila è composta ordinariamente di sei pile più piccole comunicanti tra loro e che sono formate complessivamente da 1800 coppie. Sopra un perno *c*, collocato ad eguale distanza dalle due colonne *a* e *b*, trovasi un cappelletto d'avorio *i* cui sono uniti quattro bracci, i quali sostengono delle piccole banderuole di talco fissate con gomma lacca, che le isola. Queste banderuole, attratte dapprima dalla elettricità delle sfere che terminano le colonne, le toccano e si caricano di elettricità della stessa specie: allora, respinte, girano ed avviene che le due banderuole positive, per esempio, respinte dalla colonna *a* sono attratte dalla colonna *b*, e dopo averla toccata, ne sono parimenti respinte, e così di seguito, d'onde risulta un movimento continuo, che dura fino a che agisce la pila, cioè per parecchi anni.

TEORIA CHIMICA DELLA PILA.

640. **Elettricità sviluppata nelle azioni chimiche.** — La teoria del contatto proposta da Volta per ispiegare la produzione della elettricità nella pila venne ben presto combattuta da parecchi fisici. Fabroni, compatriota di Volta, avendo osservato che nella pila i dischi di zinco si ossidavano a contatto delle rotelle acidulate, pensò che questa ossidazione fosse la causa principale dello svolgimento della elettricità. In Inghilterra, Wollaston pose innanzi, poco dopo, la stessa opinione, e Davy l'appoggiò con ingegnosi esperimenti.

È bensì vero che nell'esperimento sopra citato (629) Volta aveva ottenuto segni sensibili di elettricità; ma De La Rive fece osservare che, tenendo lo zinco con una pinzetta di legno, cessa ogni segno elettrico, ed altrettanto avviene quando lo zinco sia cinto da gas che, come l'idrogeno e l'azoto, non esercitano alcuna azione chimica su quel metallo. De La Rive quindi conchiuse che lo svolgimento di elettricità, nell'esperimento di Volta, è dovuto alle azioni chimiche risultanti dall'umore della traspirazione cutanea della mano e dall'ossigeno dell'aria.

Si dimostra lo svolgimento dell'elettricità nelle azioni chimiche col mezzo dell'elettrometro condensatore nel modo seguente. Sul disco superiore si colloca un disco di

carta bagnata e sopra questo un capsula di zinco, nella quale si versa acqua ed acido solforico, poi si immerge nel liquido una lamina di platino comunicante col suolo, mentre pure si fa comunicare col suolo il disco inferiore dell'elettrometro, toccandolo con un dito bagnato. Interrompendo poi le comunicazioni, e sollevando il disco superiore, si riconosce che le foglie d'oro sono sensibilmente cariche di elettricità positiva, il che dimostra che il disco superiore è stato elettrizzato negativamente dall'azione chimica dell'acido sulle pareti della capsula.

Meglio ancora serve il galvanometro (672) a constatare che tutte le azioni chimiche sono accompagnate da sviluppo più o meno abbondante di elettricità, e, appunto col mezzo di questo istrumento, Becquerel trovò le seguenti leggi intorno allo sviluppo di elettricità nelle azioni chimiche.

1.ª *Nella combinazione dell'ossigeno con un altro corpo, l'ossigeno piglia l'elettricità positiva e il combustibile la negativa.*

2.ª *Nella combinazione di un acido con una base, o con un corpo che si comporta come base, il primo prende sempre l'elettricità positiva e il secondo la negativa.*

3.ª *Quando un acido agisce chimicamente sopra un metallo, l'acido si elettrizza positivamente e il metallo negativamente*, ciò che è necessaria conseguenza della seconda legge.

4.ª *Nelle decomposizioni gli effetti elettrici sono inversi dei precedenti.*

5.ª *Nelle doppie decomposizioni l'equilibrio delle forze elettriche non è turbato.*

Grandissima è la quantità di elettricità sviluppata nelle azioni chimiche. Infatti, Becquerel giunse a questo risultato sorprendente, che la ossidazione di quella quantità di idrogeno la quale può dare un miligrammo d'acqua svolge elettricità bastante per caricare *venti mila volte una superficie metallica di un metro quadrato* ad un grado tale che le scintille risultanti dalla scarica scocchino alla distanza di un centimetro. A consimili risultati giunsero Faraday e Pelletier.

641. Teoria chimica della pila. — In questa teoria, che oggidì è la sola generalmente ammessa, tutta l'elettricità sviluppata nella pila precedentemente descritta si riguarda come dovuta alla azione dell'acqua acidulata sullo zinco, in base alle leggi date nel paragrafo precedente. Importa però di osservare che nella teoria del contatto (630) una coppia è costituita da un pezzo di zinco

ed uno di rame saldati insieme, mentre nella teoria chimica una coppia è costituita da *un sistema dei due metalli zinco e rame separati da acqua acidulata.*

Ciò premesso, consideriamo dapprima il caso di una coppia semplice, zinco e rame, immersa nell'acqua acidulata con acido solforico (fig. 484). Giusta la terza legge di Becquerel, nella azione chimica tra l'acqua, l'acido e lo zinco, questo metallo si elettrizza negativamente, e l'acqua acidulata positivamente. Il rame, essendo *inattivo*, cioè non attaccato dall'accido solforico alla temperatura ordinaria, non serve che a sottrarre al liquido la sua elettricità, di modo che trovasi elettrizzato positivamente. Se adunque si riuniscono i due metalli con un filo conduttore, si otterrà una corrente che va, nel liquido, dallo zinco al rame, e, nel filo congiuntivo, dal rame allo zinco. Si vede quindi che *il polo positivo corrisponde al metallo inattivo ed il negativo all'attivo.* Questo principio è generale, e si applica non solo alle pile già descritte, ma anche a quelle che ci restano a far conoscere.

Fig. 484.

Secondo questa teoria chimica della pila, dovuta a De La Rive, si vede essere necessario che uno solo dei metalli componenti la coppia voltiana sia attaccato dall'acqua acidulata, od almeno che l'altro metallo sia molto meno attivo del primo, altrimenti si producono due effetti in direzioni contrarie, i quali tendono ad annullarsi. Per ciò si è con vantaggio sostituito, nella coppia voltiana, al rame il platino ed anche il carbone compatto.

642. **Teoria della pila composta di più coppie.** — Nel caso di una sola coppia, che venne considerato nel precedente paragrafo (fig. 455), le due elettricità, le quali sono separate in causa dell'azione chimica, e si trovano l'una sullo zinco e l'altra nel liquido, per la maggior parte si combinano di nuovo nella stessa coppia attraverso al liquido, epperciò soltanto una piccola parte dell'elettricità sviluppata dall'azione chimica circola pel filo congiuntivo: anzi questa parte è tanto minore quanto più piccola è la resistenza che incontrano i due fluidi a riunirsi nell'interno della coppia. Che se questa resistenza aumenta, cresce pure la quantità di elettricità che va da

un polo all'altro pel filo congiuntivo. Ora, questo risultato si ottiene moltiplicando il numero delle coppie.

Infatti, si consideri, per esempio, una pila a truogoli AB (fig. 485) formata da coppie di zinco e rame, e caricata con acqua acidulata nella quale l'acido d'ogni compartimento attacca lo zinco, ma è inoperoso sul rame. Si svolge in tutta la pila elettricità positiva verso il liquido e negativa sullo zinco di ciascuna coppia (641, 3.ª). Ora, nel truogolo *b*, dove il liquido si trova nel medesimo tempo in contatto collo zinco e col rame, l'elettricità positiva del liquido si ricompone continuamente colla elettricità con-

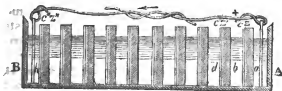



Fig. 485.

traria della coppia *cz*; nel truogolo *d* il fluido positivo del liquido si combina col negativo della coppia *c'z'*, e così di seguito. Non restano dunque libere che le elettricità dei truogoli estremi *a* ed *h*, le quali non possono combinarsi con quelle dei truogoli vicini. Facilmente poi si comprende che il truogolo *a* trovasi elettrizzato positivamente per l'azione dell'acido sullo zinco *z*, e il truogolo *h* negativamente, ricevendo esso l'elettricità della coppia *c'' z''*.

Ciò posto, siccome De La Rive trovò che la conduttività di una massa liquida interrotta da diaframmi metallici è in ragione inversa del numero di questi, ne segue che quanto più numerose sono le coppie interpolari, maggiore pure sarà la resistenza che incontrano alla loro ricomposizione nella pila le elettricità contrarie accumulate ai poli, maggiore la tensione e più copiosa l'elettricità che percorre il filo congiuntivo. Segue anche da ciò che, nelle coppie interpolari, la tensione decresce dai poli verso il mezzo della pila, poichè, diminuendo l'intervallo delle coppie, la resistenza alla ricomposizione diventa minore. Per lo stesso motivo la tensione è nulla nella parte centrale.

Siccome la resistenza alla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate ai poli aumenta quando il liquido interpolare è meno conduttore, altrettanto deve av-

venire per la tensione. Infatti, De La Rive riconobbe che la tensione della pila rimane la stessa empiendo i suoi truogoli d'acqua acidulata o di acqua comune. Nel primo caso la produzione di elettricità è più abbondante, ma i fluidi contrarii si ricompongono più facilmente.

Finalmente, giusta la precedente teoria, la tensione cresce col numero delle coppie; ma siccome le elettricità contrarie delle coppie intermedie si neutralizzano costantemente, ne segue che, riunendo i due poli per mezzo di un circuito metallico, questo viene realmente attraversato soltanto dalla elettricità di una sola coppia. Si scorge quindi che, aumentando il numero delle coppie, queste si comportano come se fossero inattive e non modificano la intensità della corrente se non per la resistenza che esse oppongono alla ricomposizione delle elettricità contrarie delle coppie estreme.

643. **Indebolimento della corrente nelle pile, correnti secondarie, polarità.** — Le varie pile a colonna, a truogoli, di Wollaston e di Münch descritte precedentemente, ed aventi tutte per carattere di essere formate con due metalli e con un liquido solo, presentano il grave inconveniente di somministrare correnti la cui intensità rapidamente scema.

Questo affievolimento è prodotto da due cause; la prima è il decremento delle azioni chimiche dipendente dalla neutralizzazione dell'acido solforico a misura che esso si combina collo zinco: la seconda proviene dalle *correnti secondarie*. Si dà questo nome a correnti che si producono nelle pile in verso contrario alla corrente principale, e la distruggono totalmente od in parte. Becquerel riconobbe che queste correnti sono causate da depositi che si formano sopra le piastre di zinco e di rame delle coppie. Infatti, siccome la corrente, che va dallo zinco al rame *entro la pila*, decompone l'acqua e il solfato di zinco che si è formato, così, sul rame, verso il quale la corrente si dirige, si deposita dello zinco, dell'ossido di zinco ed anche uno strato di gas idrogeno, mentre verso lo zinco si portano l'acido e l'ossigeno provenienti dalla decomposizione del sale e dell'acqua. Ora, reagendo in seguito le une sulle altre le sostanze così deposte, ne risulta una corrente diretta oppostamente a quella della pila, e che più o meno la neutralizza. La corrente secondaria così sviluppata è tanto più intensa quanto più a lungo fu protratta l'azione della corrente principale.

I depositi si formano principalmente sul metallo inattivo, su quello cioè che rappresenta il polo negativo *nell' interno della coppia*. Quelli che tenderebbero a formarsi sul metallo attivo vengono disciolti dalla azione chimica che ivi si sviluppa. Quando si interrompe il circuito, i depositi si sciolgono e la corrente può allora ottenersi più intensa. Lo stesso risultato si ottiene facendo passare pel circuito la corrente di un'altra pila in verso contrario alla prima, e così sciogliendo i depositi che si erano formati.

De La Rive constatò, pel primo, che le lamine di platino le quali abbiano servito a trasmettere la corrente in un liquido decomponibile, estratte da questo liquido ed immerse nell'acqua distillata, danno origine ad una corrente inversa di quella che avevano dapprima trasmessa, il quale fenomeno fu espresso dal detto fisico ginevrino dicendo che le lamine sono *polarizzate*. Becquerel e Faraday hanno dimostrato che questa polarità dei metalli è un effetto dei depositi prodotti dalle correnti secondarie di cui ora abbiamo parlato.

Anche le lamine di platino, che hanno servito alla decomposizione dell'acqua pura, acquistano la polarità elettrica, nel qual caso il fenomeno non può essere attribuito ad un acido o ad una base: ma Matteucci ha dimostrato che tale polarità proviene da strati di gas ossigeno e di gas idrogeno deposti rispettivamente su ciascuna lamina.

PILE A DUE LIQUIDI E A DIAFRAMMA.

644. **Oggetto delle pile a due liquidi.** — L'uso delle pile ad un solo liquido si è generalmente abbandonato oggidì a motivo dell'indebolimento rapido della corrente, e si sostituiscono ad esse delle pile a due liquidi le quali si denominano *pile a corrente costante*, perchè i loro effetti conservano per un certo tempo un'intensità presso a poco costante. Le pile di questo genere furono d'assai modificate quanto alla forma; le più usitate sono quella di Daniell, quella di Grove e quella di Bunsen.

In queste pile si correggono gl'inconvenienti delle pile ad un liquido solo per mezzo di due liquidi capaci di reagire l'uno sull'altro, e separati da un diaframma che impedisce la loro rapida mescolanza mentre lascia passare facilmente la corrente. Uno dei due elementi d'una stessa coppia viene immerso in uno dei liquidi, l'altro nell'altro. Le condizioni a cui si deve soddisfare nella costruzione

di queste pile sono 1.° di non dar luogo ad alcun deposito dannoso sul metallo inattivo; 2.° di conservare sempre l'acido allo stesso grado di concentrazione.

645. **Pila di Daniell.** — La prima pila a corrente costante fu costruita da Becquerel, nel 1829. Di poi, nel 1836, il chimico inglese Daniell costrusse la pila che porta il suo nome, e che, come la *pila a carbone* (647), ha oggidì la massima diffusione.

La figura 486 rappresenta una coppia di questa pila, la cui forma andò soggetta a molte variazioni. Un vase di vetro V è pieno di una soluzione satura di solfato di rame, nella quale trovasi immerso un cilindro di rame C, in cui sono praticati lateralmente parecchi fori, e che è aperto ai due capi. Alla parte superiore di questo cilindro è fissato un recipiente annulare G, al cui contorno inferiore si trovano dei piccoli fori immersi nella soluzione. In questo recipiente si collocano dei cristalli di solfato di rame, che si sciolgono di mano in mano mentre l'apparato è in azione. Finalmente, nell'interno del cilindro C si dispone un vase poroso o diaframma P di porcellana non verniciata pieno di acqua acidulata con acido solforico o di una soluzione di sale marino, nella quale si immerge un cilindro di zinco Z aperto ai due capi ed amalgamato. Ai due cilindri di zinco e di rame sono fissate con viti di pressione due lamine sottili *p* ed *n* di rame, che formano gli elettrodi delle pila.

Fig. 486.

Finchè questi due elettrodi non comunicano tra loro, la pila non è operativa; ma, stabilita la comunicazione, incomincia l'azione chimica; l'acqua viene decomposta e l'acido solforico attacca lo zinco, il quale si elettrizza negativamente, mentre l'acqua acidulata si elettrizza positivamente (640). Dall'acqua l'elettricità positiva, attraverso al diaframma, passa nella soluzione di solfato di rame e da ultimo sul rame C, il quale così diventa il polo positivo. L'idrogeno poi, che proviene dalla decomposizione dell'acqua, è tradotto nel verso della corrente interna, passa nella soluzione di solfato di rame, ne riduce l'ossido e rivivifica il rame, il quale va a formare

un deposito aderente sul cilindro C. Per conseguenza la superficie di quest'ultimo rimane sempre identicamente la stessa. Finalmente, l'ossido di zinco, che può provenire dalla decomposizione del solfato di zinco, prodotta dalla corrente secondaria, non passa attraverso al vase poroso, ma resta nella dissoluzione stessa in cui è immerso lo zinco.

Durante questo lavoro chimico la soluzione di solfato di rame tende ad impoverirsi rapidamente, ma i cristalli collocati nella galleria G, sciogliendosi di mano in mano, mantengono costante il grado di concentrazione. L'acido solforico reso libero dalla decomposizione del solfato di rame si porta, insieme coll'ossigeno dell'acqua, verso lo zinco a trasformarlo in solfato; e siccome la quantità di acido solforico messa in libertà dalla soluzione solfato di rame è regolare, tale pure è l'azione dell'acido sullo zinco, dal che nasce una corrente costante.

Con questa pila si ottengono degli effetti costanti per parecchie ore ed anche per parecchi giorni, quando abbiasi cura di mantenere la soluzione allo stato di saturazione coll'aggiungere di quando in quando dei cristalli di solfato di rame nel recipiente annulare. Per unire parecchie coppie si congiunge con viti di pressione il polo zinco di una coppia col polo rame della seguente, e così successivamente da una coppia all'altra, come mostra la figura 490 in un'altra specie di pila. L'elettrodo fissato allo zinco è negativo, e quello fissato al rame è positivo come nelle pile già descritte.

In luogo di un vase poroso di terra si adopera anche per diaframma, che separa le due soluzioni, una bisaccia di tela fitta o di pellicola. L'effetto è sulle prime più energico di quello che si ottiene con un vase poroso, ma, mescolandosi più rapidamente le due soluzioni, s'indebolisce più presto. In generale, i diaframmi devono essere permeabili alla corrente, ma impedire, per quanto è possibile, la mescolanza dei due liquidi.

646. **Pila di Grove.** — La figura 487 rappresenta una coppia della pila di Grove. Questa coppia è composta: 1.° di un vase di vetro A riempito in parte di acqua acidulata con acido solforico; 2.° di un cilindro di zinco Z aperto ai due capi ed avente una fessura longitudinale; 3.° di un vase V di porcellana porosa e pieno d'acido azotico comune; 4.° di una lamina di platino P curvata ad S (fig. 488) e fissata ad un coperchio *c* che si pone

sul vase poroso. Un'asta metallica *b*, comunicante colla lamina di platino, sostiene un filo di rame che serve di elettrodo positivo, mentre un altro filo fissato allo zinco serve di elettrodo negativo.

Questa pila è poco usitata a motivo del costo del platino. Inoltre questo metallo ha l'inconveniente che, quando la pila ha servito per un certo tempo, diventa fragile e si spezza sotto il minimo sforzo. Tuttavia Adam, professore di fisica a Nizza, osservò che le lamine di platino di una pila di Grove, scaldate al rosso ripigliano la loro elasticità.

647. **Pila di Bunsen**. — La *pila di Bunsen*, conosciuta anche sotto il nome di *pila a carbone*, inventata nel 1843, non è altro che quella di Grove, quando si sostituisca alla foglia di platino un cilindro di carbone, preparato collo scaldare ad altissima temperatura in una forma di lamiera di ferro una mescolanza intima di coke e di carbon fossile grasso ben polverizzati e fortemente compressi.

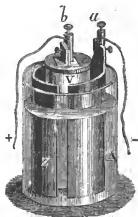



Fig. 487. *Fig.* 488.

Ogni coppia della pila a carbone è composta di quattro pezzi di forma cilindrica, i quali possono collocarsi facilmente l'uno entro l'altro. Questi pezzi sono: 1.° un vase F (fig. 489) di majolica o di vetro, che contiene una mescolanza di una parte di acido solforico e di 10 o 12 parti d'acqua; 2.° un cilindro cavo Z di zinco amalgamato, a cui è fissata una lamina sottile e stretta di rame destinata a servire di elettrodo negativo; 3.° un vase V di

porcellana porosa, nel quale si pone dell' acido azotico comune; 4.° un cilindro di carbone C, buon conduttore, preparato come si è già detto ed alla cui parte superiore è fissata una lamina di rame, che serve di elettrodo positivo. Il miglior modo di fissare questa lamina è di saldarla ad un tronco di cono che entra nel carbone, come rappresenta la figura 490. Quando si vuole far agire l'apparato, lo si dispone come si vede in P (fig. 489), collocando il cilindro di zinco nel vase di majolica, poi entro questo cilindro il vase poroso ed il carbone.

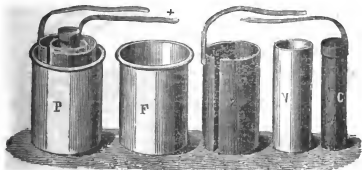



Fig. 489 ($a = 47$).

Finchè lo zinco ed il carbone non comunicano fra loro, la pila non è operativa; ma, stabilita la comunicazione per mezzo di un circuito conduttore, l'azione chimica incomincia. L'acqua, nella quale è immerso lo zinco, viene decomposta da questo metallo e dall'acido solforico con formazione di solfato di zinco; questo metallo si elettrizza negativamente (633) e diventa il polo negativo della coppia. L'acqua acidulata, al contrario, elettrizzandosi positivamente, la elettricità positiva passa, attraverso al vase poroso, nell'acido azotico e di là sul carbone, che diventa così il polo positivo. L'idrogeno prodotto dalla decomposizione dell'acqua non si deposita sul carbone, ma, combinandosi ad una parte dell' ossigeno dell' acido azotico, trasforma questo in acido ipoazotico e coll'ossigeno forma dell' acqua. Finalmente, l'ossido di zinco rimane nel liquido in cui è immerso il cilindro di zinco senza passare attraverso al vase poroso sino al carbone. Quest' ultimo perciò conserva sempre una superficie perfettamente pulita. il che principalmente contribuisce a conservare alla pila una forza costante.

Per formare un apparato composto, o una pila, si dispongono le coppie come mostra la figura 490. Ad ogni zinco è saldata una lamina di rame terminata da un cono dello stesso metallo, il quale viene incastrato nel carbone della coppia successiva; finalmente, il primo e l'ultimo elemento sono terminati dagli elettrodi P ed N. In recenti ricerche Despretz adoperò sino ad 800 coppie.

La pila di Bunsen è la più energica delle pile a corrente costante e la più usitata oggidì. Però la corrente s'indebolisce con una certa rapidità a misura che l'acido sol-

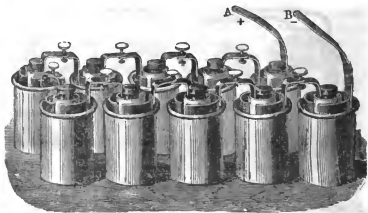



Fig. 490.

forico si combina collo zinco. Inoltre questa pila ha l'inconveniente di diffondere dei vapori di acido ipoazotico assai incomodi quando le coppie siano numerose.

Le dimensioni delle coppie di Bunsen sono arbitrarie e si fanno variare a seconda degli effetti che si vogliono produrre. Quando, nel parlare di queste coppie, non si indicheranno le dimensioni, si intenderà che siano quelle minori adottate da Deleuil, cioè che il cilindro di zinco abbia 14 centimetri di altezza e 10 di diametro.

648. Manipolazione della pila di Bunsen. — La manipolazione della pila di Bunsen è lunga, penosa, e richiede molta cura se vuolsi ottenere dalla pila il migliore effetto. Duboscq, giudice competente in questa materia, dà i consigli seguenti:

In primo luogo si deve fare la mescolanza d'acqua e d'acido solforico preventivamente in un solo vase affine di ottenere esattamente lo stesso

grado di saturazione per tutte le copple. Per ciò, dopo aver versata l'acqua in un bacinetto di legno, vi si aggiunge un decimo, in volume, di acido solforico comune, in modo che la soluzione segni 10 od 11 gradi al pesa-acidi di Baumé. Se non si ha il pesa-acidi, si riconosce che l'acqua è abbastanza acidulata dal sentire che diventa tiepida nel mescolarsi coll'acido, ovvero che una goccia deposta sulla lingua non vi può essere tollerata.

Le coppie debbono essere disposte in fila sopra una tavola o sopra un pavimento ben secco, avendo cura che non si tocchino l'una coll'altra se non per mezzo delle lamine e dei coni di rame, che uniscono lo zinco di ogni coppia col carbone della segnente. In seguito si versa, per mezzo di un imbuto, l'acido azotico nei vasi porosi, sino ad empirli a due centimetri al di sotto del lembo superiore, indi si riempiono nel medesimo modo i vasi interni con acqua acidulata fino alla distanza di un centimetro dal lembo, e così si stabilisce pressochè l'eguaglianza di livello dei due liquidi, condizione essenziale per la costanza della pila. Tosto che l'acido azotico è versato nei vasi porosi si deve porre l'acqua acidulata nei vasi interni per non dare tempo all'acido azotico di attraversare quei primi e di giungere ad attaccare lo zinco.

Essendo indispensabile pel buon funzionare della pila l'esattezza nei contatti, si devono pulire accuratamente, strofinandoli con carta da smeriglio, i tronchi di cono che si introducono nei contorni, e sorvegliare a che essi entrino a forza nelle cavità corrispondenti.

L'acido azotico, se è nuovo, deve segnare 40 al pesa-acidi e può servire sino a che non segna più che 26. Vi si aggiunge allora un cinquantesimo, in volume, di acido solforico; ma dopo questa aggiunta non può servire che una sola volta. L'acqua acidulata serve generalmente due volte, a meno che il solfato di zinco formatosi non cominci a cristallizzarsi.

La più importante avvertenza per conservare la pila in buono stato è di amalgamare lo zinco delle coppie (649). Si riconosce che lo zinco abbisogna d'essere amalgamato da ciò, che entro l'acqua acidulata, anche senza che la pila sia in attività, manda una specie di sibilo. Se l'acqua lo attacca fortemente si vede anche svolgersi fumo e bolle intorno al metallo: in questo caso bisogna immediatamente estrarlo, altrimenti in poche ore viene traforato.

Per amalgamare i pezzi di zinco, o si immergono per alcuni secondi nell'acqua acidulata (quella stessa che serve per la pila), affine di detergerli, poi si collocano in un vase di terra che contiene un po' d'acqua acidulata più fortemente (il doppio della prima) e due chilogrammi all'incirca di mercurio, che si stende sullo zinco per mezzo di una grattabugia di ferro. Quando i pezzi sono amalgamati, si immergono in un bagno d'acqua limpida, al fondo della quale, dopo l'operazione, si raccoglie il mercurio eccedente.

649. Proprietà dello zinco amalgamato. — De la Rive osservò che l'acido solforico allungato con acqua non attacca lo zinco puro o isolato, ma lo attacca quando sia posto a contatto con una lastra di platino o di

rame immersa nella soluzione. Al contrario, lo zinco comune, il quale non è puro, è attaccato vivamente dall'acido solforico diluito; ma, allorchè sia amalgamato, acquista la proprietà dello zinco puro e non è attaccato se non quando trovasi in contatto con un filo di rame o di platino immerso esso pure nella soluzione, cioè quando fa parte di una coppia in attività.

Questa proprietà, che sembra dovuta allo stato elettrico assunto dallo zinco pel suo contatto col mercurio, fu applicata alle pile elettriche da Kemp, il quale, pel primo, immaginò di amalgamare lo zinco di ogni coppia. Adoperando lo zinco così preparato, fino a che il circuito non è chiuso, cioè quando non v'è corrente, lo zinco non è attaccato. Si osserva inoltre che collo zinco amalgamato la corrente è più regolare, e nello stesso tempo più intensa, per una stessa quantità di metallo che si discioglie.

650. Differenti combinazioni delle coppie di una pila. — Parecchie

Fig. 491.

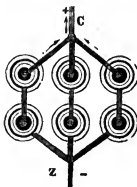



Fig. 492.

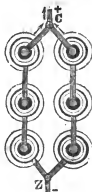



Fig. 493.

coppie di Bunsen o di Daniell, che si uniscono per formare una pila galvanica, come mostra la figura 490, possono essere combinate in differenti modi. Per esempio, nel caso di 6 coppie, si possono formare le 4 combinazioni seguenti: 1.° in una sola serie longitudinale (fig. 491), di cui C rappresenta l'elettrodo positivo e Z il negativo; 2.° in due serie parallele, ciascuna di tre coppie (fig. 495), riunendo gli ettrodi positivi delle due serie in C ed i negativi in Z; 3.° in tre serie parallele, ciascuna di due coppie (fig. 493), riunendo ancora in un solo gli elettrodi dello stesso nome; 4.° finalmente,

in sei serie ciascuna di una coppia (fig. 494), le cui correnti si riuniscono tutte in C ed in Z. Con 12 coppie si potrebbero formare 8 combinazioni differenti, e così di seguito per un maggior numero di coppie. Le combinazioni in serie longitudinali (fig. 491 o 490) si chiamano anche *associazioni in serie*, e quelle in serie parallele (fig. 492 e 493) si denominano *associazioni in batteria*.

In queste diverse combinazioni la diminuzione della lunghezza delle serie ed il proporzionale aumento del loro numero equivalgono ad una diminuzione del numero delle coppie e ad un aumento nella loro superficie, e perciò si ottengono così per uno stesso numero di coppie effetti assai differenti, come vedremo fra poco (651) parlando degli effetti della pila.

Nelle diverse combinazioni suaccennate la resistenza presentata dalla pila alla corrente diminuisce a misura che cresce il numero delle serie parallele. Infatti, se si rappresenta con 1 la resistenza di una sola coppia, quella della prima combinazione (fig. 491) è 6; quella della seconda (fig. 492) è 3 per

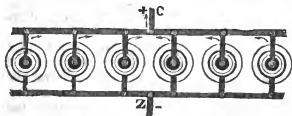



Fig. 494.

ciascuna serie, e per conseguenza 3/2 = 1,5 per le due serie riunite, perchè, essendo eguale, la resistenza, si è raddoppiata la corrente: nella terza combinazione (fig. 493) la resistenza per ogni serie è 2, e per le tre serie riunite è 2/3 = 0,66. Finalmente, nella quarta (fig. 494) la resistenza è $\frac{1}{6}$ = 0,166. Nello stesso modo si calcolerebbe la resistenza di un numero qualunque di coppie disposte in serie parallele. Per esempio, 24 coppie in 3 serie parallele di 8 danno la resistenza $\frac{8}{3}$ = 2,66. Ora, siccome il calcolo dimostra che si ottiene da una pila il massimo effetto quando la resistenza nella pila è eguale a quella del circuito che deve percorrere la corrente da un elettrodo all'altro, così tra le combinazioni possibili si dovrà scegliere quella la cui resistenza è meno differente dalla resistenza del circuito dato.

CAPITOLO II.

EFFETTI DELLA PILA; GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA.

651. **Diversi effetti della pila.** — Gli effetti della elettricità dinamica si dividono in fisiologici, fisici e chimici. Questi effetti differiscono da quelli presentati dall' elettricità statica per ciò che questi ultimi sono dovuti ad una ricomposizione istantanea delle due elettricità a forte tensione, mentre i primi risultano dalla ricomposizione lenta dei medesimi fluidi a tensione molto più debole, quando i due poli della pila sono riuniti per mezzo di un circuito più o meno conduttore. A motivo della continuità della forza che li produce, gli effetti delle correnti sono molto più considerabili di quelli delle macchine elettriche.

Gli effetti fisici, i quali si dividono in calorifici e luminosi, dipendono principalmente dalla quantità di elettricità circolante nella pila, e, per conseguenza, dalla superficie delle coppie. Gli effetti chimici, al contrario, come i fisiologici, dipendono dalla tensione, e, per conseguenza dal numero delle coppie. Tutti questi effetti crescono insieme colla facoltà conduttrice del liquido della pila.

652. **Effetti fisiologici.** — Si chiamano così gli effetti prodotti dalla pila sugli animali vivi o morti di recente. Gli effetti di questa sorta, come abbiamo veduto, furono i primi che venissero osservati, poichè ad essi è dovuta la scoperta della elettricità dinamica fatta da Galvani, e consistono in scosse e contrazioni muscolari assai energiche quando le pile sieno potenti.

Prendendo colle due mani gli elettrodi di una forte pila, si sente una scossa violenta paragonabile a quella della bottiglia di Leyda, principalmente quando si bagnino le mani con acqua acidulata o salata, il che serve ad aumentare la conduttività. La commozione è tanto più forte quanto maggiore è il numero delle coppie. Con una pila di Bunsen di 50 a 60 coppie in cui lo zinco abbia dodici centimetri d'altezza e 15 di diametro la scossa è forte; con 150 o 200 coppie è insopportabile ed anche pericolosa. Questa scossa si stende nel braccio meno di quella della bottiglia di Leyda, e, trasmessa in una catena di parecchie persone, è sentita generalmente soltanto da quelle che sono più vicine ai poli.

La scossa della pila, come quella della bottiglia di Leyda, è dovuta alla ricomposizione delle elettricità contrarie, ma con questa differenza che la scarica della bottiglia di Leyda, essendo istantanea, altrettanto accade della scossa che ne risulta; mentre la pila, ricaricandosi tosto dopo ciascuna scarica, può dare scosse che si succedono con rapidità.

L' effetto della corrente voltiana sugli animali varia secondo la sua direzione. Infatti, risulta dalle ricerche di Lehot e di Marianini che la corrente, allorchè si propaga a seconda delle ramificazioni dei nervi, produce una contrazione muscolare al momento in cui comincia ed una sensazione dolorosa quando cessa; mentre, propagandosi in verso contrario delle ramificazioni nervose, produce una sensazione di dolore finchè sussiste ed una contrazione al momento della sua interruzione. Però, questa differenza di effetti si riconosce soltanto nelle correnti deboli. Colle correnti intense le contrazioni ed i dolori si producono egualmente quando si chiude e quando si riapre il circuito, qualunque sia la direzione della corrente.

Le contrazioni cessano tosto che la corrente è invariabilmente stabilita tra il nervo ed il muscolo, il quale fenomeno sembra dimostrare che si è prodotta istantaneamente una modificazione, la quale dura quanto la corrente. Infatti, le contrazioni si manifestano di nuovo quando si inverta la corrente o le si sostituisca una corrente più intensa.

Per effetto della corrente furono richiamati a vita dei conigli asfissiati da mezz' ora, e la testa d' un decapitato provò sì orribili contrazioni che gli spettatori ne furono spaventati. Il tronco, assoggettato alla stessa azione, si sollevava in parte, le mani si agitavano, colpivano gli oggetti vicini, ed i muscoli pettorali si contraevano in modo da imitare il movimento respiratorio. Insomma, tutti i fenomeni vitali si riproducevano fedelmente, ma cessavano ad un tratto quando la corrente veniva interrotta.

653. **Effetti caloriflci.** — Una corrente voltiana, che attraversi un filo metallico, produce gli stessi effetti della scarica di una batteria (623); il filo si scalda, diventa incandescente, si fonde o si volatilizza secondo che è più o meno lungo e di diametro maggiore o minore. Con una pila potente si fondono tutti i metalli, anche l'iridio ed il platino, che resistono ai fuochi delle fucine i più intensi. Il carbone è il solo corpo che non siasi fi·

nora potuto fondere colla pila. Tuttavia, Despretz, con una pila di Bunsen di 600 coppie riunite in sei serie parallele (650), ha scaldato delle verghe di carbone purissimo sino ad una tale temperatura che si incurvarono, si rammollirono e si poterono saldare insieme; ora, questi fenomeni indicano un principio di fusione.

Nella stessa serie di esperimenti questo fisico trasformò il diamante in grafite ed ottenne, per mezzo di una azione assai prolungata, dei globetti di carbone fuso. Egli potè anche fondere in alcuni minuti 250 grammi di platino; operando poi sopra pochi grammi ne volatilizzò una parte.

Basta una pila di 30 o 40 coppie di Bunsen per fondere e volatilizzare rapidamente dei piccoli fili di piombo di stagno, di zinco, di rame, d'oro, d'argento, di ferro ed anche di platino, ed ottenere brillanti scintille diversamente colorate. Il ferro ed il platino bruciano con luce bianca brillante, il piombo con luce purpurea, lo stagno e l'oro danno luce bianco-azzurrognola, lo zinco mista di bianco e di rosso, e, finalmente, il rame e l'argento danno una luce verde.

Facendo passare la corrente in fili metallici di diametri e di lunghezze eguali ma di differenti sostanze, Children constatò che si scaldano maggiormente quelli che hanno minore conduttività elettrica; d'onde conchiuse che gli effetti calorifici della pila sono dovuti alla resistenza incontrata dalla corrente nell' attraversare il conduttore che riunisce i poli.

Si è già osservato (651) che gli effetti calorifici dipendono dalla quantità del fluido elettrico circolante nella corrente piuttosto che dalla tensione; ossia dipendono più dalla superficie delle coppie che dal loro numero. Infatti, con una sola coppia di Wollaston, in cui lo zinco abbia trecento centimetri quadrati di superficie, si giunge a fondere un filo sottile di ferro.

Collocando nella corrente un filo metallico isolato in un tubo di vetro pieno d'acqua destinato a servire di calorimetro, Edmondo Becquerel trovò che lo svolgimento di calorico dovuto al passaggio dell'elettricità attraverso ai corpi solidi presenta le leggi seguenti:

1.ª *La quantità di calorico sviluppata è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettricità che passa in un tempo dato.*

2.ª *Questa quantità di calorico è in ragione diretta della resistenza del filo al passaggio della elettricità.*

3.ª *Qualunque sia la lunghezza del filo, purchè abbia dappertutto lo stesso diametro e passi la stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura è lo stesso in tutta l'estensione del filo.*

4.ª *Per una stessa quantità di elettricità, l'elevazione di temperatura in differenti punti del filo è in ragione inversa della quarta potenza del diametro.*

È più difficile l'osservare gli effetti calorifici delle correnti nei liquidi, perchè questi corpi hanno un calorico specifico maggiore dei solidi, ed i gas che si svolgono assorbiscono una grande quantità di calorico latente. Per esempio, nella decomposizione dell'acqua si riconosce che l'elevazione di temperatura è minore al polo negativo dove il volume dell' idrogeno che si svolge è doppio di quello dell' ossigeno che si raccoglie al polo positivo, come si vedrà quanto prima (659).

654. **Effetti luminosi.** — La pila elettrica, dopo il sole, è la sorgente di luce la più intensa che si conosca. I suoi effetti luminosi si manifestano con scintille o coll'incandescenza delle sostanze che riuniscono i due poli.

Per ottenere delle scintille, quando la pila è abbastanza potente, si avvicinano i due elettrodi, lasciando tra loro un piccolo intervallo, e si vedono allora scoccare delle brillanti scintille, le quali possono succedersi con rapidità sufficiente per produrre una luce continua. Con otto o dieci coppie di Bunsen si ottengono dei brillanti fiocchi luminosi quando si faccia comunicare uno degli elettrodi con una lima grossolana e scorrere l'altro sulle scabrosità della medesima.

Le correnti presentano notabili effetti luminosi dovuti alla incandescenza dei conduttori ch'esse attraversano. Un filo di ferro o di platino che riunisca i due poli di una potente pila e che sia grosso abbastanza per non essere fuso, diventa incandescente e manda viva luce per tutto il tempo che dura l'azione della pila. Se il filo è avvolto sopra sè stesso ad elice, l'effetto luminoso è ancora maggiore.

Ottiensi sopratutto un bell' effetto di luce elettrica facendo comunicare i due elettrodi con due coni di coke scaldati dapprima fortemente in un vaso chiuso, indi lasciati raffreddare e disposti come mostra la figura 495. Il carbone *b* è fisso, e il carbone *a* può essere innalzato od abbassato per mezzo di un' asta dentata, a cui esso è fissato, e di un rocchetto che si fa girare a mano mediante

un bottone *c*. Posti dapprima i carboni a contatto, si fa passare la corrente; ben tosto il punto di contatto acquista uno splendore abbagliante, il quale si estende a poco a poco ad una certa distanza dalle punte. Allora si può sollevare il carbone superiore ed allontanarlo di alcuni millimetri senza che la corrente si interrompa; le due elettricità si ricompongono nell' intervallo che separa i due carboni, e questo spazio è occupato da un arco luminoso vivacissimo denominato *arco voltiano.*

La lunghezza di questo arco varia colla forza della cor-

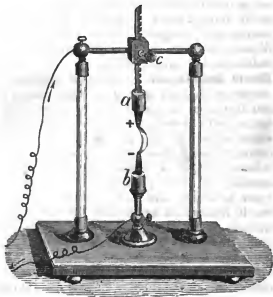



Fig. 495.

rente: con una pila di 600 coppie disposte in 6 serie parallele, ciascuna di 100, può giungere alla lunghezza di sette centimetri quando il carbone positivo è in alto, come indica la figura 495; se fosse al basso, l'arco è di soli 5 centimetri. Nel vuoto la distanza tra i due carboni può essere molto maggiore che nell' aria; difatti, allora l'elettricità, non incontrando più alcuna resistenza, si slancia dai due carboni anche prima che giungano al contatto. Si può produrre quest' arco anche nei liquidi, ma allora è molto più corto e meno brillante.

L'arco voltiano ha la proprietà che, quando gli viene presentata una potente calamita, è attratto dalla medesima in causa dell'azione delle calamite sulle correnti (676).

Alcuni fisici hanno riguardato l'arco voltiano come formato da una successione rapidissima di vivaci scintille; ma, in generale, si ammette che sia dovuto alla corrente elettrica tradotta dal polo positivo al negativo per mezzo di molecole incandescenti, che sono volatilizzate e trasportate nel verso della corrente, cioè dal polo positivo al negativo. Infatti, quanto più facilmente gli elettrodi sono disgregati dalla corrente, tanto più si possono allontare l'uno dall'altro senza interromperla. Il carbone, sostanza assai friabile, è uno dei corpi che dà un arco luminoso più lungo.

Davy fece, pel primo, a Londra, nel 1801, l'esperienza della luce elettrica con due coni di carbone ed una pila a truogoli di 2000 coppie, le cui piastre quadrate avevano il lato di circa 11 centimetri. Egli adoperava carbone leggiero spento dapprima allo stato d'incandescenza in un bagno di mercurio, il quale, penetrando ne' pori del carbone, ne aumentava la conduttività.

Siccome però il carbone di legno brucia rapidamente nell'aria, l'esperimento della luce elettrica fu fatto per molto tempo nel vuoto, collocando i due carboni entro un uovo elettrico a chiavetta, come quello che è rappresentato dalla figura 468. Oggidì si fa uso esclusivamente dal carbone delle storte che servono alla preparazione del gas illuminante. Questo carbone, che è duro e compatto, può essere tagliato in verghe, e siccome nell'aria la sua combustione non si effettua che lentamente, non è necessario operare nel vuoto. Quando si fa l'esperimento nel vuoto, la combustione non si compie, eppure i carboni si consumano ancora, perchè avviene volatilizzazione e trasporto dal polo positivo al polo negativo. Con questo arco voltiano si produce la illuminazione elettrica, di cui, sebbene siansi eseguiti numerosi esperimenti, non si fa ancora uso, sia pel soverchio costo, sia per la vivacità che offende la vista.

655. **Esperimento di Foucault.** — Foucault insegnò un bello esperimento, che consiste nel projettare l'immagine dei due carboni, rappresentati nella figura 495, sopra un diaframma, nella camera nera, mentre si produce la luce elettrica (fig. 496). Questo esperimento, che si istituisce per mezzo del microscopio foto-elettrico (fi-

gura 359 pag. 520), serve a far distinguere assai chiaramente i due carboni incandescenti, e si vede il carbone positivo incavarsi e diminuire, mentre l'altro aumenta. I globuli, che nella figura si scorgono sulle due verghe, provengono dalla fusione di una piccola quantità di silice, contenuta nel coke di cui esse sono fatte. Quando incomincia a passare la corrente, diventa luminoso pel primo il carbone negativo, ma il positivo ha la maggiore lucentezza, ed è anche quello che si consuma più presto; per ciò conviene sceglierlo di maggiori dimensioni.

Fig. 496.

656. **Regolatore della luce elettrica.** — Quando si vuole applicare la luce elettrica alla illuminazione, importa ch'essa conservi la continuità ed uniformità che presentano gli altri sistemi di illuminazione. Ora, a questo effetto non basta che la corrente della pila sia costante, ma bisogna altresì che la distanza dei carboni rimanga sensibilmente invariata; epperò richiedesi che possano avvicinarsi di mano in mano che si consumano. Per raggiungere questo scopo furono immaginati varii apparecchi; noi descriveremo quello di Duboscq.

In questo regolatore i due carboni sono mobili, ma con diseguali velocità proporzionali possibilmente al loro consumo rispettivo. Il moto viene trasmesso ai carboni per mezzo di un *tamburo* collocato sull'asse xy (fig. 497). Questo tamburo fa girare nel verso delle freccie due ruote a e b i cui diametri stanno fra loro come 1 a 2, e che trasmettono il loro moto a due aste dentate C e C'. La prima di queste fa scendere il carbone positivo p per mezzo di un'asta che scorre nel canale H, mentre la seconda fa ascendere il carbone negativo n con velocità che è la metà di quella di p. Il bottone y serve a ricaricare il tamburo ed anche a far muovere a mano il carbone positivo, mentre il bottone x può servire a far muovere a mano l'altro carbone indipendentemente dal primo. A questo fine l'asse dei due bottoni x e y è formato di due pezzi, che sono collegati l'uno all'altro soltanto a strofinamento alquanto duro. Così, serrando fra le dita il bottone x, si può far girare il solo bottone y; e, reciprocamente, tenendo quest'ultimo, si può far muovere l'altro.

Ma, quando il tamburo funziona, l'attrito è abbastanza duro per trascinare le due ruote *a* e *b* e le due aste C, C'.

Ora ecco come funziona l'apparato. Posti i due carboni in contatto, si fa giungere pel filo E la corrente di una forte pila, per esempio di 40 o 50 coppie, la quale

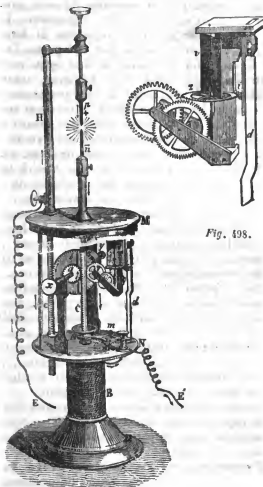



Fig. 498.

Fig. 497.

ascende in H, scende pel carbone positivo, poi pel negativo e investe tutto l'apparato, eccettuata l'asta dentata C e il bottone a destra sul lembo del disco N, perchè questi pezzi sono piantati sopra dischi di avorio, e perciò

isolati. La corrente va, finalmente, nel rocchetto B, che costituisce il piede del regolatore e ritorna alla pila pel filo E'. Il rocchetto è armato internamente di un cilindro curvo di ferro dolce, il quale si magnetizza ogni volta che passa la corrente nel rocchetto, e si demagnetizza quando non passa più la corrente. Questa calamita temporaria è l'organo essenziale del regolatore. Infatti, essa opera per attrazione sopra un'armatura di ferro dolce A, la quale ha un foro centrale per cui passa l'asta dentata C', ed è fissata alla estremità di una leva oscillante sui due punti d'appoggio *mm*: così vengono trasmesse piccole oscillazioni ad un pezzo *d*, che per mezzo di un'appendice *i* fa imboccare la ruota *z*, come si vede in maggiori dimensioni nella figura 498. Per mezzo di una vite perpetua ed una serie di ruote dentate, viene fermato il tamburo, e, fermandosi così le aste dentate, anche i carboni si fermano. Così stanno le cose finchè la magnetizzazione è abbastanza intensa nel rocchetto da tenere attratta l'àncora: ma, di mano in mano che i carboni si consumano, la loro distanza cresce, la corrente si indebolisce, sebbene continui a passare sotto forma di arco voltiano (654), e giunge un momento in cui l'attrazione della calamita non può più fare equilibrio ad una molla *r*, che tende continuamente a sollevare l'àncora. Questa allora risale, il pezzo *d* rende libera l'appendice *i*, il tamburo funziona ed i carboni si avvicinano, non però sino al contatto, perchè, prevalendo l'intensità della corrente, l'àncora A viene attratta e ricomincia la immobilità dei carboni. Essendo per tale disposizione ristrettissimi i limiti entro cui varia la distanza dei carboni, la luce che si ottiene è regolare e continua sino a che i carboni stessi non siano compiutamente distrutti.

Con questo regolatore Duboscq illumina il suo *apparato fotogenico* rappresentato dalla figura 359 e ripete col migliore successo tutte le esperienze di ottica, che altre volte istituivansi colla luce solare.

657. **Proprietà ed intensità della luce elettrica.** — La luce elettrica gode delle stesse proprietà chimiche della luce solare: essa determina la combinazione del cloro e dell'idrogeno insieme mescolati, agisce chimicamente sul cloruro d'argento, e, applicata alla fotografia, dà bellissime prove, pregievoli pel caldo delle tinte: non si può per altro applicarla ai ritratti, perchè stanca troppo la vista. Hervé-Mangon ha osservato recentemente

che la materia verde delle piante si sviluppa sotto l'influenza della luce elettrica al pari che sotto quella della solare.

La luce elettrica, trasmessa attraverso ad un prisma, è decomposta e dà uno spettro simile allo spettro solare (461), il che mostra ch'essa non è semplice. Wollaston e principalmente Fraünhofer hanno trovato che lo spettro della luce elettrica differisce da quello delle altre luci e della solare perchè presenta parecchie righe assai chiare, tra le quali primeggia una nel verde per lucentezza quasi brillante in confronto delle rimanenti parti dello spettro. Wheatstone osservò che, adoperando elettrodi di differenti metalli, lo spettro e le righe vengono modificati, e Despretz riconobbe che le righe brillanti sono fisse ed indipendenti dalla intensità della corrente.

Masson, il quale studiò di nuovo la luce elettrica ne'suoi particolari, con esperimenti istituiti sulla scintilla della macchina elettrica, non che sulla luce dell'arco voltiano e del rocchetto di Ruhmkorff (718), trovò nello spettro elettrico gli stessi colori che nello spettro solare, ma attraversati da strisce luminose assai brillanti, dello stesso colore di quel luogo dello spettro in cui sono collocate, e conobbe che la loro posizione e il loro numero non dipendono dalla intensità della scintilla, ma dalle sostanze tra le quali vien fatta scoccare.

Col carbone le righe sono assai numerose e vivaci; collo zinco lo spettro presenta molto sviluppata una tinta verde-pomo; coll'argento si ottiene un verde intenso; col piombo predomina il violetto, e così di seguito coi differenti metalli.

Sperimentando con 48 coppie ed allontanando di 7 millimetri i carboni, Bunsen trovò che l'intensità della luce elettrica equivale a quella di 572 candele. Ma questa esperienza fu fatta con coppie nelle quali il carbone era esterno e lo zinco interno; epperò queste coppie davano effetti molto minori di quelle in cui il carbone è interno (647). Quindi la luce di 48 di queste ultime coppie supera di molto quella di 572 candele.

Fizeau e Foucault, che cercarono di paragonare la luce elettrica alla solare, non confrontarono le quantità di luce emesse da queste due sorgenti, ma i loro effetti chimici sull'ioduro d'argento delle lastre di Daguerre; pertanto i risultati ottenuti non fanno conoscere l'intensità ottica della luce elettrica, ma la sua intensità chimica.

Rappresentando con 1000 la intensità della luce solare a mezzodì, nel mese di aprile, Fizeau e Foucault trovarono che quella della luce di 46 coppie di Bunsen a carbone interno era rappresentata da 235, e quella di 80 coppie soltanto da 238. Da questi numeri risulta che l'intesità della luce non cresce notabilmente aumentando il numero delle coppie, ma l'esperienza dimostra che essa cresce molto aumentandone la superficie. Infatti, con tre serie, ciascuna di 46 coppie riunite parallelamente in modo che i loro poli positivi concorressero in un solo, ed altrettanto fosse dei poli negativi, il che equivaleva a triplicare la superficie delle coppie (650), l'intensità fu di 385 quando la pila agiva da un'ora; e questo numero rappresenta più di un terzo dell'intensità della luce solare.

Despretz, nel riferire le sue numerose esperienze sulla pila, fece osservare che non sono mai soverchie le cautele per preservarsi dagli effetti luminosi della medesima quando giungono ad una certa intensità. La luce di 100 coppie può cagionare, com'egli dice, delle malattie d'occhi assai dolorose. La luce ottenuta con 600 coppie può produrre in un solo istante dei dolori d'occhi e di capo violentissimi, ed irritare la pelle del viso come farebbe una viva insolazione. Perciò, in queste esperienze, è indispensabile il far uso di occhiali a vetro azzurro assai carico.

658. **Effetti meccanici della pila.** — Si indicano con questo nome certi trasporti di sostanze solide e liquide operati dalle correnti. Nella formazione, per esempio, dell'arco voltiano (654), si è veduto che vi è trasporto delle molecole di carbone dal polo positivo al negativo: ecco uno degli effetti meccanici.

Il trasporto dei liquidi per mezzo delle correnti fu osservato per la prima volta da Porret nel seguente esperimento. Avendo egli diviso un vase di terra in due compartimenti per mezzo di un diaframma permeabile, consistente in una membrana di vescica, versò poi dell'acqua nei due compartimenti allo stesso livello e vi immerse due elettordi di platino posti in comunicazione coi poli di una pila di 80 coppie. Intanto che l'acqua veniva decomposta, una parte ne venne trasportata nel verso della corrente attraverso alla membrana dal compartimento positivo al negativo, dove il livello si elevò al di sopra dell'altro. Questo esperimento non riesce con acqua che tenga in soluzione un sale od un acido, perchè allora il liquido non offre resistenza alla corrente.

Agli effetti meccanici della corrente si può anche ascrivere il suono prodotto da un'asta di ferro dolce sottoposta all'azione magnetica di una corrente discontinua, il quale fenomeno sarà descritto più innanzi (697).

659. **Effetti chimici della pila, decomposizione dell'acqua, elettoliti.** — Si è già notato che gli effetti chimici della pila dipendono piuttosto dal numero delle coppie che dalla loro ampiezza, perchè nella decomposizione chimica, esercitandosi l'azione della corrente sopra sostanze poco conduttrici, è necessario aumentare la tensione, e, per conseguenza, il numero delle coppie.

L'acqua fu la prima sostanza che venisse decomposta; questa decomposizione fu effettuata nel 1800 dagli inglesi Carlisle e Nicholson col mezzo di una pila a colonna. Quattro o cinque coppie di Bunsen bastano per decomporre rapidamente l'acqua che tenga in soluzione un sale

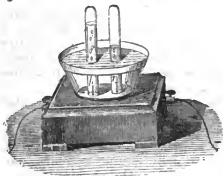



Fig. 499.

od un acido, il quale ne aumenti la conduttività; l'acqua pura non si decompone che con lentezza. La figura 499 rappresenta l'apparato di cui si fa uso per decomporre l'acqua colla pila, e per raccogliere il gas ossigeno ed il gas idrogeno che si sviluppano. Esso è composto di un vase conico, di vetro, unito con mastice ad un piede di legno. Dal fondo di questo vase si elevano due fili di platino *h* ed *n*, che comunicano con due viti prementi di ottone fissate sui lati dell'apparato e destinate a ricevere gli elettrodi della pila. Dopo avere empito il vase di acqua leggermente acidulata, si dispongono sopra i fili di platino due campanelle piene di acqua, indi si stabilisce la corrente. Tosto l'acqua viene decomposta e si risolve in gas

ossigeno ed in gas idrogeno, i quali si svolgono in bolle entro le campanelle. Allora si osserva che la campanella comunicante col polo positivo si empie di ossigeno, e l'altra di idrogeno, ed inoltre che il volume di quest'ultimo gas è doppio di quello del primo. Con questa esperienza si ha dunque nello stesso tempo l'analisi qualitativa e quantitativa dell'acqua.

Quelle sostanze le quali, come l'acqua, sono decomposte dalla corrente, e i cui elementi vengono compiutamente separati, ebbero da Faraday il nome di *elettroliti*. Il medesimo chiamò *elettrolisi* la decomposizione prodotta dalla corrente voltiana.

660. **Voltametro.** — L'apparato or ora descritto ricevette da Faraday il nome di *voltametro*. Mentre il galvanometro serve per misurare l'intensità delle correnti deboli, il voltametro può essere applicato alla misura dell'intensità delle correnti poderose, ed il suo uso è fondato sul principio scoperto da Faraday, che, nelle decomposizioni elettro-chimiche, *la quantità, in peso, degli elementi separati è proporzionale alla quantità di elettricità che passa nel circuito*. Per conseguenza, nell'esperimento surriferito, il volume dei gas raccolti può servire a misurare l'intensità chimica della corrente.

Nonpertanto importa osservare che la quantità di gas prodotta dalla decomposizione dell'acqua non dipende soltanto dalla intensità della corrente, ma anche dal grado di acidità dell'acqua, dalla natura, dal volume e dalla distanza dei fili e delle lamine immerse nel liquido per trasmettergli la corrente. Quindi bisogna adoperar sempre lo stesso apparato od apparati affatto simili, altrimenti i risultati non sono comparabili.

Il voltametro che abbiamo desritto è un *voltametro chimico;* si immaginarono anche dei *voltametri calorifici* destinati a far dedurre l'intensità della corrente dalla quantità di calore che sviluppano nei circuiti solidi o liquidi, che esse percorrono. Ma tutti questi voltametri e chimici e calorifici sono ben lontani dall'essere strumenti precisi. I migliori strumenti atti a paragonare l'intensità delle correnti sono quelli che descriveremo più innanzi sotto il nome di *galvanometro* e di *bussola dei seni*.

661. **Legge delle decomposizioni chimiche colla pila.** — Faraday fece conoscere, pel primo, questa notabile legge delle decomposizioni per mezzo della pila: *Quando una stessa corrente opera successivamente sopra una serie di soluzioni, i pesi degli elementi che vengono*

separati sono nello stesso rapporto dei loro equivalenti chimici.

Le esperienze che condussero a queste legge furono fatte per mezzo di voltametri congiunti tra loro con fili di platino ed attraversati da una stessa corrente. Si trovò per tal modo, operando sopra soluzioni saline di differenti metalli, che le quantità di metallo deposte sui fili negativi nei voltametri erano rispettivamente proporzionali agli equivalenti di questi metalli.

662. **Decomposizione degli ossidi metallici e degli acidi.** — Le correnti esercitano sugli ossidi metallici la stessa azione che sull'acqua; li riducono tutti, trasferendone l'ossigeno al polo positivo ed il metallo al negativo. Col mezzo di fortissime correnti Davy, pel primo, nel 1807, decompose la potassa e la soda, che fino a quel tempo avevano resistito a tutti gli agenti chimici, e le ascrisse alla classe degli ossidi metallici. Parecchi altri ossidi, come la barite, la stronziana e la calce non sono decomponibili altrimenti che colla pila.

Gli ossacidi vengono decomposti, al pari degli ossidi; il loro ossigeno si porta sempre al polo positivo, il radicale al negativo. Anche gli idracidi sono decomposti, ma l'idrogeno si porta al polo negativo, e l'altro elemento al positivo.

In generale, tutte le combinazioni binarie si comportano analogamente sotto l'azione della pila; cioè uno degli elementi si reca al polo positivo, l'altro al negativo. I corpi semplici, che nelle decomposizioni così operate colla pila si portano verso il polo positivo, ricevettero il nome di corpi *elettro-negativi* perchè si riguardarono come corpi carichi naturalmente dell'elettricità negativa; quelli poi che si recano al polo negativo furono chiamati *elettro-positivi*. L'ossigeno è costantemente in tutte le sue combinazioni elettro-negativo, il potassio elettro-positivo. Gli altri corpi semplici sono ora elettro-positivi ed ora elettro-negativi, secondo la natura del corpo col quale sono combinati. Per esempio, il solfo, che è elettro-positivo coll'ossigeno, è invece elettro-negativo coll'idrogeno.

663. **Decomposizione dei sali.** — I sali ternarii allo stato di soluzione vengono tutti decomposti dalla pila, e presentano allora effetti, che variano colle affinità chimiche e colla energia delle correnti. Se l'acido e la base del sale sono stabili, vengono soltanto separati, ed allora l'acido si trasferisce sempre al polo positivo, l'ossido al negativo; così è dei solfati, carbonati e fosfati dei metalli

delle prime due sezioni. Se l'acido è poco stabile, viene decomposto, e si reca al polo positivo soltanto l'ossigeno. Se l'ossido è debole, il suo metallo ridotto recasi al polo negativo, mentre l'acido e l'ossigeno dell'ossido si recano al polo positivo; ciò appunto avviene coi sali di piombo, di rame, d'argento, e, in generale, coi sali delle tre ultime sezioni. Da ultimo, se avviene che siano compiutamente ridotti l'acido o l'ossido, tutto l'ossigeno si reca al polo positivo, mentre i due radicali si trasferiscono all'altro polo.

A dimostrare la decomposizione dei sali operata dalla pila serve un tubo di vetro curvato (fig. 500), nel quale si versa una soluzione di solfato di potassa o di soda, colorata in azzurro per mezzo dello sciroppo di viole. Nei due rami del tubo si immergono due lamine di platino, che si pongono poi in comunicazione cogli elettrodi della pila. Se si adoperano tre o quattro coppie di Bunsen, si osserva, dopo pochi minuti, che il liquido contenuto nel ramo A, comunicante col polo positivo, si colora in rosso, e che quello del ramo B, il quale comunica col polo negativo, si colora in verde; onde risulta che l'acido del sale si è portato al polo positivo e la base al negativo, perchè si sa che la tintura di viole ha la proprietà di arrossare per l'azione degli acidi e di inverdire per l'azione delle basi.

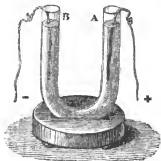



Fig. 500.

Se per fare questo esperimento si adopera una corrente alquanto intensa, si osserva uno svolgimento di ossigeno al polo positivo e di idrogeno al negativo e ciò si spiega, ammettendo che avvenga anche la decomposizione dell'acqua per mezzo della corrente, ovvero che l'ossido di potassio o di sodio vengano decomposti, che il loro ossigeno si porti verso il polo positivo, mentre il metallo, reagendo sull'acqua, le sottragga l'ossigeno e lasci libero l'idrogeno.

La decomposizione dei sali per mezzo della pila fu adoperata vantaggiosamente nella galvanoplastica, nella indoratura ed inargentatura, delle quali parleremo fra poco (668).

664. **Anelli di Nobili.** — Decomponendo i sali colla

pila, Nobili ottenne sulle lastre metalliche degli anelli colorati di tinte assai vivaci. Siccome questi anelli risultano di strati metallici sottilissimi, che si depositano sulle lastre, la loro colorazione si spiega colla teoria degli anelli colorati di Newton (528). Per ottenerli, si colloca al fondo di una soluzione di acetato di piombo o di solfato di rame una lastra metallica, che comunica col polo negativo di una pila debole, poi si chiude il circuito con un filo di platino, che comunica col polo positivo, e si immerge nella soluzione perpendicolarmente alla lastra e assai vicina alla medesima. Allora, dirimpetto alla punta, si depositano degli anelli di colori vivaci e differenti secondo la natura delle lastre e dei sali che trovansi in soluzione.

665. **Albero di Saturno.** — Quando si immerge in una soluzione salina un metallo più ossidabile di quello che entra nella composizione del sale, quest'ultimo metallo viene precipitato dal primo e si deposita lentamente sul medesimo, mentre il metallo immerso gli si sostituisce equivalente per equivalente. Questa precipitazione di un metallo per mezzo di un'altro è attribuita in parte all'affinità, in parte all'azione elettro-chimica di una corrente, che sarebbe dovuta al contatto del metallo precipitato col precipitante, o piuttosto all'azione dell'acido contenuto nella soluzione, giacchè si è riconosciuto essere necessario che quest'ultima sia debolmente acida. Allora l'eccesso di acido libero agisce sul metallo precipitante e determina la corrente, che decompone il sale.

Un notabile effetto della precipitazione di un metallo per mezzo di un altro è l'*albero di Saturno*. Si denomina così una serie di ramificazioni lucenti, che si ottengono collo zinco nelle soluzioni di acetato di piombo. A questo effetto si empie una bottiglia di vetro con una soluzione ben limpida di questo sale, poi si chiude la bottiglia con un turacciolo di sughero, il quale porta dei pezzi di zinco attaccati ad alcuni fili di ottone che s'immergono divergenti nella soluzione. Chiusa esattamente la bottiglia e lasciata in quiete, a capo di alcuni giorni, si scorge che sui fili di ottone, e specialmente sui pezzi di zinco, si sono depositate delle brillanti laminette di piombo cristallizzato, le quali rappresentano quasi una vegetazione detta *albero di Saturno* dal nome che gli antichi alchimisti davano al piombo. Si è parimenti dato il nome di *albero di Diana* al deposito metallico prodotto dal mercurio nell'azotato di argento.

666. **Trasporti operati dalle correnti.** — Nelle decomposizioni chimiche operate della pila non avviene soltanto la separazione degli elementi, ma anche il trasporto degli uni al polo positivo e degli altri al negativo. Questo fenomeno fu dimostrato da Davy per mezzo di numerose esperienze, tra le quali citeremo le due seguenti:

1.ª Dopo avere versata una soluzione di solfato di soda in due capsule comunicanti per mezzo di un fascio di fibre d'amianto umettato colla stessa soluzione, si immerge l'elettrodo positivo in una delle capsule ed il negativo nell'altra. Allora il sale è decomposto, ed a capo di alcune ore tutto l'acido solforico trovasi nella prima capsula e la soda nell'altra.

2.ª Tre vasi di vetro A, B, C (fig. 501), il primo dei quali contiene una soluzione di solfato di soda, il secondo

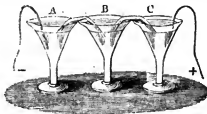



Fig. 501.

dello sciroppo di viole diluito, il terzo dell'acqua pura, si fanno comunicare tra loro per mezzo di fascetti di amianto inumiditi, poi si fa passare la corrente, per esempio, da C verso A. Allora il solfato del vase A è decomposto; ben presto in questo vase, che comunica col polo negativo, rimane la sola soda e tutto l'acido è trasportato nel vase C posto in comunicazione col polo positivo. Se, al contrario, la corrente dirigesi da A a C, si trasporta la soda in C, mentre tutto l'acido rimane nel vase A. In ambedue i casi si osserva questo singolare fenomeno che la tintura di viole del vase B non è nè arrossata nè inverdita dal passaggio dell'acido o della base nella sua massa, del quale fenomeno vedremo la spiegazione nel seguente paragrafo.

667. **Ipotesi di Grotthus sulle decomposizioni elettro-chimiche.** — Grotthus diede la seguente teoria delle decomposizioni elettro-chimiche operate dalla pila. Adottando innanzi tutto l'ipotesi che in ogni composto binario, ovvero che si comporti come tale, uno de-

gli elementi sia elettro-positivo e l'altro elettro-negativo (662), questo scienziato ammette che, sotto l'influenza delle elettricità contrarie degli elettrodi della pila, producasi, nel liquido in cui questi vengono immersi, una serie di decomposizioni e ricomposizioni successive da un polo all'altro, in maniera che i soli elementi delle molecole estreme non tornino a combinarsi ma restino liberi e si rechino ai poli. Allorquando, per esempio, l'acqua è attraversata da una corrente elettrica abbastanza energica, la

Fig. 502.

sua molecola *a*, che trovasi in contatto col polo positivo, essendo formata di ossigeno e di idrogeno nelle proporzioni di un atomo del primo, il quale è elettro-negativo, e di due del secondo, il quale è elettro-positivo, si orienta come mostra la figura 502, cioè l'ossigeno trovasi attratto e l'idrogeno respinto. Allora, mentre l'ossigeno di questa molecola recasi sul polo positivo, l'idrogeno messo in libertà si unisce immediatamente coll'ossigeno della molecola *b*, poi l'idrogeno di quest'ultima si unisce all'ossigeno della molecola *c* e così di seguito fino al polo negativo, dove gli ultimi atomi di idrogeno sono messi in libertà e si recano al polo. La stessa teoria si applica agli ossidi metallici ed ai sali, e spiega come nell'esperimento del paragrafo precedente lo sciroppo di viole del vase B non sia nè arrossato nè inverdito.

GALVANOPLASTICA; INDORATURA E INARGENTATURA.

668. **Galvanoplastica.** — La decomposizione dei sali operata dalla pila ricevette una importante applicazione nella *galvanoplastica*. Si dà questo nome all'arte di modellare i metalli precipitandoli dalle loro dissoluzioni saline per mezzo dell'azione lenta di una corrente elettrica. Quest'arte fu inventata quasi contemporaneamente, nel 1838, da Spencer in Inghilterra, e da Jacobi in Russia, ma pare che il vero inventore ne sia stato Jacobi (Vedi il *Cosmos* del 9 marzo 1860 pag. 261).

Quando si vuole riprodurre una medaglia o qualsiasi altro oggetto per mezzo della galvanoplastica, bisogna prima procurarsene un'importa in incavo sulla quale possa depositarsi lo strato metallico, che deve dare in rilievo la medaglia. Se quest'ultima è di metallo, il più semplice processo per fare la forma consiste nell'adoperare della lega fusibile di D'Arcet composta di 5 parti di piombo, 8 di bismuto e 3 di stagno. Si versa questa lega fusa in una sottocoppa poco profonda, e, quando è prossima a solidificarsi, si lascia cadere la medaglia in piano da una piccola altezza sopra la lega che dee rimanere poi tranquilla per un certo tempo. Raffreddata la lega, basta darle una piccola scossa per distaccarne la medaglia. Allora si cinge la forma con un filo di rame destinato a metterla in comunicazione col polo negativo della pila, poi si copre il suo contorno e la faccia posteriore con un sottile

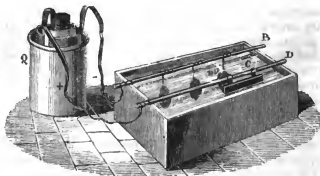



Fig. 503.

strato di cera fusa affinchè il metallo si deponga soltanto sull'impronta.

Per riprodurre, in rame, una medaglia, si prende una vaschetta piena di una soluzione satura di solfato di rame, e, collocatevi al di sopra due verghe di ottone B e D (fig. 503) comunicanti l'una col polo negativo, l'altra col polo positivo di una coppia di Bunsen, si sospende alla prima la forma *m* già preparata, ed all'altra una piastra di rame C. Trovandosi così chiuso il circuito, il solfato di rame viene decomposto; il suo acido e l'ossigeno dell'ossido si portano al polo positivo, mentre il solo rame si reca al polo negativo e si deposita lentamente sulla forma sospesa all'asta B, o sovra parecchie forme dispo-

ste come la prima. Dopo quarantotto ore la forma è coperta di uno strato di rame ben aggregato e resistente, ma che non ha con essa alcuna aderenza, purchè prima dell'operazione siasi strofinata la forma con una spazzola fina leggiermente cospersa di una sostanza grassa, o siasi fatta scorrere rapidamente sulla fiamma di una resina per farvi depositare una strato di sostanza eterogenea.

Se la medaglia da riprodursi è in gesso, non si può farne la forma colla lega di D'Arcet. Allora si immerge la medaglia in un bagno di stearina fusa a 70°, ed estraendola tosto, si scorge che asciuga quasi istantaneamente, perchè la stearina penetra nei pori del gesso. Con una spazzola fina si stende un sottilissimo strato di piombaggine sulla medaglia appena che sia raffreddata, poi la si circonda con una lista di cartone e vi si versa di sopra della stearina appena fusa, la quale, solidificandosi, riproduce esattamente in incavo la medaglia primitiva. Si leva la forma così ottenuta, la quale non è aderente al gesso a motivo dello strato di piombaggine interposto, indi la si rende conduttrice rivestendola di piombaggine. Per mezzo di un filo di rame si sospende questa forma così preparata al polo negativo della pila nel modo esposto poc'anzi.

Si fanno de' buoni stampi anche colla guttaperca. A questo effetto si incomincia col ricoprire di piombaggine l'oggetto di cui si vuol formare l'impronta, per impedire che aderisca alla guttaperca; indi, fatta rammollire nell'acqua calda una certa quantità di questa sostanza, la si applica sull'oggetto che si vuol riprodurre, premendola alquanto. Quando è raffreddata, si distacca la guttaperca, la quale è poco aderente, e si trova sopra questa sostanza una fedelissima impronta in incavo dell'oggetto. Questa impronta, rivestita di piombaggine, affine di renderla conduttrice, e sospesa al polo negativo della pila, viene immersa in una soluzione concentrata di solfato di rame, e così, in capo a quarantott'ore, si ottiene la riproduzione in rame dell'oggetto.

La piastra di rame C, collocata al polo positivo, serve non solo a chiudere il circuito ma anche a mantenere la soluzione in uno stato di concentrazione costante; infatti, l'acido e l'ossigeno, che si portano al polo positivo, si combinano col rame della piastra, e riproducono costantemente una quantità di solfato di rame eguale a quella che è stata decomposta dalla corrente.

Per la galvanoplastica si dà generalmente la preferenza

alla pila di Daniell (645), perchè più costante ne' suoi effetti; ma si può operare assai bene anche con una sola coppia di Bunsen, principalmente se si ha cura di indebolirla col diminuire la superficie dello zinco e coll'acidulare soltanto leggiermente l'acqua nella quale è immerso questo metallo.

669. **Indoratura galvanica**. — Prima che si conoscesse la decomposizione dei sali per mezzo della pila si facevano le indorature a mercurio. A questo effetto si amalgamava l'oro, poi si applicava l'amalgama sull'oggetto che si voleva indorare e lo si poneva in un fornello; per l'azione del calore, il mercurio si volatilizzava e rimaneva soltanto uno strato sottilissimo di oro, che rivestiva l'oggetto. Lo stesso processo si applicava alla inargentatura; ma oggidì a questo processo costoso e nocivo alla salute si sostituiscono generalmente quelli di indoratura ed inargentatura galvanica. La indoratura colla pila differisce dalla galvanoplastica soltanto perchè lo strato metallico che si fa depositare sugli oggetti, che voglionsi indorare, è molto più sottile e aderente, Brugnatelli, professore a Pavia, osservò, pel primo, nel 1803, che si poteva ottenere l'indoratura con una pila ed una soluzione alcalina d'oro; ma De la Rive, pel primo, fece della elettro-doratura una vera arte. I processi di indoratura ed inargentatura furono successivamente perfezionati da Elkington, Ruolz ed altri fisici.

I pezzi che si vogliono indorare devono subire tre preparazioni, cioè il ricuocimento, la disossidazione e la detersione.

Il ricuocimento consiste nello scaldare i pezzi per toglierne le sostanze grasse che potevano essere rimaste aderenti alla loro superficie in conseguenza delle manipolazioni cui erano stati precedentemente sottoposti.

Siccome i pezzi che si vogliono indorare sono ordinariamente di rame, la loro superficie, nel ricuocimento, si copre di uno strato di ossido. Per levar via questo strato si immergono i pezzi ancora caldi in un bagno di acido azotico assai diluito, nel quale si lasciano quanto tempo basti perchè l'ossido si disciolga. Si strofinano allora con una spazzola dura, si lavano coll'acqua distillata e si fanno asciugare entro segatura di legno mediocremente scaldata.

I pezzi sono ancora iridescenti, e, per togliere loro tutte le macchie, si procede alla detersione, la quale consiste

nell'immergere rapidamente i pezzi in un bagno d'acido azotico ordinario, poi in una mescolanza dello stesso acido, di sale marino e di fuliggine, e, finalmente, lavarli coll'acqua pura.

Preparati i pezzi, si sospendono all'elettrodo negativo di una pila formata di tre o quattro coppie di Daniell o di Bunsen, indi si immergono in un bagno d'oro, disponendoli come per la galvanoplastica (fig. 503) e lasciandoveli per un tempo più o meno lungo a norma della grossezza che si vuol dare allo strato.

La composizione dei bagni è stata variata d'assai. Il bagno d'oro il più usitato è composto di un grammo di cloruro d'oro per ogni 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 250 grammi d'acqua. Per mantenere il bagno ad un grado costante di concentrazione, si sospende all'elettrodo positivo una lamina d'oro, la quale si discioglie di mano in mano che l'oro della soluzione si deposita sui pezzi comunicanti col polo negativo.

Il processo ora descritto si applica con buon successo per indorare non solo il rame ma anche l'argento, il bronzo, l'ottone, il packfung. Gli altri metalli, come il ferro, l'acciajo, lo zinco, lo stagno, il piombo non si possono indorare bene che rivestendoli prima con uno strato di rame per mezzo della pila e di un bagno di solfato di rame, ed indorando poi il rame che li ricopre.

670. **Inargentatura**. — Tutto quanto si è detto sulla indoratura galvanica si applica esattamente alla inargentatura; soltanto è differente la composizione del bagno, il quale è formato di 2 grammi di cianuro di argento e 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 250 grammi di acqua. All'elettrodo positivo si appende una lastra d'argento, la quale mantiene il bagno ad uno stato costante di concentrazione, e all'elettrodo negativo si attaccano i pezzi che si vogliono inargentare, dopo averli bene detersi.

CAPITOLO III.

ELETTRO-MAGNETISMO, GALVANOMETRIA.

671. **Esperimento di OErsted**. — OErsted, professore di fisica a Copenaghen, pubblicò nel 1819 una scoperta che collegava in modo intimo il magnetismo e l'elettricità, e che per gli studii di Ampère e di Faraday diventò ben presto la sorgente di un nuovo ramo della fi-

sica. Il fatto scoperto da Œrsted è l'azione direttrice, che una corrente fissa esercita a distanza sopra un ago magnetizzato mobile. Poco dopo si riconobbe che, reciprocamente, una calamita fissa esercita una azione direttrice sopra una corrente mobile, e si diede il nome *elettro-magnetismo* alla parte della fisica che tratta delle azioni mutue fra le calamite e le correnti.

Per fare l'esperimento di Œrsted si tende orizzontalmente nella direzione del meridiano magnetico un filo di rame al di sopra di un ago magnetizzato mobile, come mostra la figura 504. Fino a che il filo non è attraversato da una corrente, l'ago gli rimane parallelo; ma appena che le due estremità del filo sono poste in comunicazione cogli elettrodi di una pila, *l'ago è deviato e s'accosta tanto più a prendere una direzione perpendicolare alla corrente, quanto più questa è intensa.*

Rispetto al verso della deviazione dei poli, si presentano

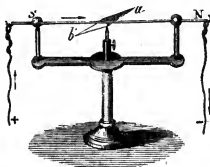



Fig. 504 ($a = 21$).

parecchi casi, che quanto prima vedremo dipendere da un principio unico. Rammentiamo innanzi tutto la convenzione già stabilita (633), giusta la quale si immagina sempre la corrente nel filo congiuntivo come diretta dal polo positivo al negativo. Ciò posto, l'esperienza precedente presenta i quattro casi seguenti:

1.° Se la corrente passa al di sopra dell'ago e va dal sul al nord, il polo australe è deviato verso l'ovest; questa è la disposizione rappresentata nella figura 504. 2.° Se la corrente passa al di sotto dell'ago, sempre dal sud al nord, il polo australe è deviato all'est. 3.° Quando la corrente passa al di sopra dell'ago nella direzione di nord a sud il polo australe si dirige verso l'est. 4.° Finalmente,

la deviazione dello stesso polo avviene verso l'ovest quando la corrente si dirige dal nord al sud al di sotto dell'ago.

Se si immagina, come fece Ampère, un osservatore collocato nel filo congiuntivo colla faccia rivolta costantemente verso l'ago ed in modo che la corrente entrando pe' suoi piedi esca pel capo, si riconosce facilmente che nelle quattro posizioni poc'anzi considerate, il polo australe è deviato verso la sinistra dell'osservatore. Personificando così la corrente, si possono riassumere i differenti casi già considerati nell'enunciato di questo principio generale: *nell'azione direttrice delle correnti sulle calamite, il polo australe è sempre deviato verso la sinistra della corrente.*

672. **Galvanometro o moltiplicatore.** — Si chiama *galvanometro* o *moltiplicatore* o *reometro* un apparato assai sensibile che serve a constatare l'esistenza, la direzione e l'intensità delle correnti. Questo apparecchio fu immaginato in Germania da Schweigger, poco tempo dopo la scoperta in Œrsted.

Per intenderne il principio, consideriamo un ago magnetizzato sospeso ad un filo di seta non torto (fig. 505) e cinto, nel piano del meridiano magnetico, da un filo di

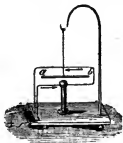
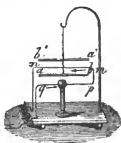



Fig. 505. *Fig.* 506.

rame che formi un circuito compiuto attorno all'ago nel verso della sua lunghezza. È facile lo scorgere che quando questo filo è attraversato da una corrente, un osservatore, il quale, giusta la convenzione stabilita nel precedente paragrafo, fosse steso sul filo nel verso delle frecce e rivolto verso l'ago *ab*, avrebbe in tutte le parti del circuito alla sua sinistra lo stesso punto dell'orizzonte, e che per con-

seguenza dappertutto l'azione della corrente tende a deviare l'ago nello stesso modo. Adunque le azioni dei quattro rami del circuito concorrono per deviare il polo australe in una sola direzione; epperò coll'avvolgere il filo di rame nella direzione dell'ago, come mostra la figura, si è *moltiplicata* l'azione della corrente. Se in luogo di un circuito solo se ne formano parecchi, l'azione si moltiplica viepiù e la deviazione dell'ago aumenta. Nondimeno l'azione della corrente non si moltiplicherebbe indefinitamente col continuare le circonvoluzioni del filo, perchè vedremo quanto prima che l'intensità di una corrente s'indebolisce al crescere della lunghezza del circuito da essa percorso.

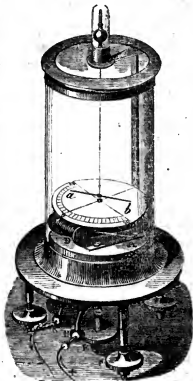
Siccome l'azione direttrice della terra tende continuamente a mantenere l'ago nel meridiano magnetico e quindi si oppone all'azione della corrente, così rendesi molto più sensibile l'effetto di quest'ultima adoperando un sistema astatico di due aghi, come mostra la figura 506. Allora l'azione della terra sugli aghi è debolissima (567), ed inoltre le azioni delle correnti sui due aghi si sommano. Infatti, l'azione dell'intero circuito, se la corrente è diretta come indicano le frecce, tende a deviare verso l'ovest il polo australe dell'ago interno *ab*. L'ago esterno *a' b'* è soggetto all'azione di due correnti contrarie *mn* e *pq*; ma la prima, essendo più vicina, esercita un'azione prevalente. Ora, siccome questa corrente passa al di sotto dell'ago dal polo australe al boreale, tende evidentemente a deviare il polo *a'* verso l'est, e, per conseguenza, il polo *b'* verso l'ovest, cioè nello stesso verso del polo *a* dell'altro ago.

Posti questi principii è facile comprendere la teoria del *moltiplicatore*. Quest'apparecchio, rappresentato nella figura 507, è composto di un telajo verticale di ottone intorno al quale si avvolge un filo di rame coperto di seta in tutta la sua lunghezza per isolare i circuiti l'uno dall'altro. Al di sopra di questo telajo trovasi un cerchio orizzontale graduato, il cui zero corrisponde al diametro parallelo alla direzione del filo di rame sul telajo; in questo cerchio sono segnate due graduazioni, l'una alla destra, l'altra alla sinistra dello zero, le quali si estendono soltanto sino a 90°. Per mezzo di un sostegno e di un filo di seta semplice, è sospeso un sistema astatico (567) formato di due aghi da cucire *ab* ed A posti l'uno al di sopra del cerchio graduato, l'altro entro il circuito. Questi aghi, che sono uniti tra loro per mezzo di un filo di rame come quelli della

figura 417 e non possono essere deviati che simultaneamente, non devono avere la stessa intensità magnetica, altrimenti ogni corrente, forte o debole, li disporrebbe in direzione perpendicolare a quella del filo.

Le aste ricurve H e K, che comunicano al di sotto dell'apparato coi due estremi del circuito, sono destinate a ricevere i conduttori, i quali trasmettono la corrente che si vuole osservare. Le viti di livello C servono a disporre lo strumento in posizione precisamente verticale, in modo che il filo di sospensione corrisponda esattamente al centro del circolo graduato. Finalmente, un bottone E serve a trasmettere il movimento al telajo D e al cerchio, che sono mobili attorno ad un asse verticale, in modo che si possono disporre i fili del circuito nella direzione del meridiano magnetico senza spostare l'apparato.

Fig. 507. ($a = 29$).

Quando il galvanometro è destinato ad osservare delle correnti dovute ad azioni chimiche, il filo del circuito deve essere di piccolo diametro, e fare un gran numero di giri, cioè almeno da 600 ad 800. Il numero dei giri si eleva anche spesso fino a due o tre mila, e, per esperienze assai delicate, è stato portato fino a 30000; per le correnti termoelettriche, delle quali parleremo più innanzi, il filo deve avere maggiore grossezza e fare un numero di giri molto minore, cioè soltanto due o tre cento. Finalmente, quando si tratti di correnti intense, si adoperano galvanometri ad un solo ago, ed il filo non deve fare che un piccolissimo numero di giri od anche uno solo. Il galvanometro più semplice è allora una bussola sopra la quale si avvolge un filo di rame diretto secondo il meridiano magnetico e nel quale passa la corrente di cui si cerca l'intensità.

Il galvanometro ora descritto non dà indizio di corrente quando nel filo si faccia passare l'elettricità di una macchina elettrica, mettendo in comunicazione un capo del medesimo coi conduttori e l'altro col suolo. Non rendesi allora sensibile la corrente che passa nell'apparato se non col far uso di un filo sottilissimo, avvolto fino a due o tre mila volte sopra sè stesso, e coll'isolare compiutamente i circuiti per mezzo di seta o di vernice di gomma lacca. Sotto tali condizioni, gli aghi sono deviati dalla elettricità della macchina elettrica, il che mostra l'identità della elettricità statica colla elettricità dinamica.

673. **Graduazione del galvanometro.** — Il galvanometro, quale ora è stato descritto, è un apparato sensibilissimo, che serve a constatare la presenza delle correnti, ma non ne fa conoscere la intensità. Per farlo servire a quest'uso, bisogna costruire delle tavole per mezzo delle quali si possa dedurre l'intensità della corrente dalla deviazione dell'ago.

Il più semplice metodo per formare queste tavole è quello del *moltiplicatore a due fili*. Si avvolgono simultaneamente sul telajo dell'apparato due fili di rame coperti egualmente di seta ed identici in lunghezza e in diametro; poi, scegliendo una sorgente costante di elettricità dinamica, ma assai debole, si fa passare la corrente in uno dei fili, e così si ottiene una deviazione, per esempio, di 5°. In seguito, per mezzo di una certa sorgente identica alla prima, si fa passare nello stesso tempo in ciascun filo una corrente di eguale intensità, e si ottiene allora una deviazione di 10°, la quale è dovuta all'azione simultanea delle due correnti, ossia ad una corrente di intensità doppia della prima. Facendo indi passare in uno dei due fili la corrente capace di produrre da sola la deviazione 10, e nell'altro una delle correnti che ha prodotto la deviazione 5, ossia in complesso una corrente tripla della prima, si ottiene la deviazione 15. Infine, facendo passare simultaneamente in ciascuno dei due fili una corrente capace di dare la deviazione 10, se ne ottiene una di 20 gradi. Adunque *sino a 20°, le deviazioni sono proporzionali all'intensità della corrente* (*). Oltre questo limite esse

(*) Conviene qui notare che questa proporzionalità anche solo sino a 20 gradi non sussiste che in determinate circostanze; in ogni caso però il metodo indicato conduce alla graduazione dello strumento.

(*Nota dei Trad.*).

crescono in un rapporto minore, ma col medesimo processo si continua a determinare di mano in mano le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute, poi si compie la tavola col metodo delle interpolazioni. Ogni galvanometro richiede una tavola speciale, perchè la relazione che sussiste tra la intensità della corrente e la deviazione dell'ago varia col grado di magnetizzazione di quest'ultimo, colla sua distanza dalla corrente e da ultimo coll'estensione del circuito.

Siccome abbiamo ora veduto che fino a 20° le deviazioni sono sensibilmente proporzionali alle intensità, si può, nel caso di un galvanometro ad un solo filo, fondarsi su tale proprietà per misurare, sino a questo limite, le intensità col mezzo delle deviazioni. Oltre questo grado bisognerebbe costruire una tavola, fondandosi sulle deviazioni prodotte dalle correnti la cui intensità fosse conosciuta e calcolando poi, per interpolazione, le intensità corrispondenti alle deviazioni intermedie.

Il moltiplicatore a due fili può anche servire a constatare la differenza di intensità di due correnti, il che si ottiene facendo passare simultaneamente, in versi contrarii, una corrente in ciascuno dei due fili. Allora l'apparato prende il nome di *galvanometro differenziale*.

674. **Usi del galvanometro**. — Il galvanometro, per la sua somma sensibilità, è uno degli strumenti più preziosi della fisica. Esso serve non solo a constatare la presenza delle più deboli correnti, ma anche a farne conoscere la direzione e l'intensità. Con questo apparato Becquerel potè verificare che avviene svolgimento di elettricità in tutte le combinazioni chimiche, e determinare le leggi che presiedono a queste combinazioni.

Se, per esempio, si fissano alle estremità del circuito del galvanometro due fili di platino, e si immergono in una capsula piena di acido azotico, non si osserva alcuna deviazione dell'ago, come si poteva facilmente prevedere, atteso che il platino non è attaccato dall'acido azotico. Ma versando una goccia d'acido cloridrico presso ad uno dei fili immersi, tosto l'ago del galvanometro è deviato, il che mostra la presenza di una corrente, che attraversa il circuito. In fatti, si sa che gli acidi azotico e cloridrico, per la loro mutua reazione, producono *acqua regia*, la quale attacca il platino. Si riconosce inoltre, dal verso della deviazione, che il platino è elettrizzato negativamente e l'acido positivamente.

675. **Leggi delle azioni delle correnti sulle calamite.** — Le azioni che le correnti esercitano sulle calamite sono di due sorta, una direttrice, l'altra attrattiva o ripulsiva. Si è già veduto (671) che l'azione direttrice di una corrente sopra una calamita consiste in ciò, che la *corrente tende sempre a disporre l'ago perpendicolarmente a sè stessa, e col polo australe alla sinistra di un osservatore il quale fosse steso sulla corrente in modo che, mentre guarda l'ago, la corrente fosse diretta da' suoi piedi al capo.*

L'intensità della azione direttrice delle correnti sull'ago magnetizzato varia colla distanza. Dai numeri di oscillazioni che fa l'ago a distanze diverse sotto l'influenza di una corrente rettilinea, Biot e Savart dedussero che *l'intensità della risultante delle azioni direttrici di tutte le parti di una corrente rettilinea indefinita sull'ago è in ragione inversa della semplice distanza.*

L'azione attrattiva o ripulsiva delle correnti sulle calamite si dimostra sospendendo verticalmente per uno dei suoi estremi ad un filo di seta sottilissimo un ago da cucire magnetizzato, indi facendo passare una corrente orizzontale assai vicino a quest'ago. Allora, secondo il verso in cui è diretta la corrente, si osservano delle attrazioni o delle ripulsioni, le quali si spiegano colla azione delle correnti sui solenoidi, quando si paragonino le calamite a solenoidi, come fece Ampère in una teoria che faremo conoscere più innanzi (694).

AZIONI DELLE CALAMITE E DELLA TERRA SULLE CORRENTI.

676. **Azione direttrice delle calamite sulle correnti.** — L'azione direttrice tra le correnti e le calamite è reciproca. Nell'esperimento di Œrsted (fig. 504) l'ago magnetizzato, che è mobile, mentre la corrente è fissa, si dirige e si dispone perpendicolarmente alla corrente. Se, al contrario, la calamita è fissa e la corrente mobile, quest'ultima si dirige e si colloca perpendicolarmente alla calamita in modo che il polo australe sia sempre a sinistra. Per dimostrare questo principio si dispone l'esperienza come mostra la figura 508. Il circuito percorso dalla corrente è mobile (*), e si accosta al di

(*) Il circuito rappresentato in questa figura è formato di una parte fissa e di una mobile. Quest'ultima consiste in un filo metallico terminato da due punte sostenute da capsule di ferro A e B piene di mercurio. (*Nota dei Trad.*)

sotto del suo ramo inferiore una potente spranga magnetizzata; tosto il circuito comincia a girare e, dopo alcune oscillazioni, si ferma in un piano perpendicolare alla ca-

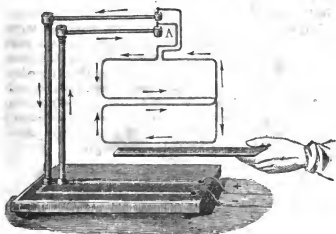



Fig. 508 (a = 42).

lamita e in tale posizione che il polo australe si trovi alla sinistra della corrente nella parte inferiore del circuito.

677. **Azione direttrice della terra sulle correnti verticali.** — La terra, la quale esercita una azione direttrice sulle calamite (558), opera altresì sulle correnti, ora disponendole in una direzione determinata, ora imprimendo loro un moto continuo di rotazione secondo che queste correnti sono verticali od orizzontali.

La prima di queste azioni, cioè quella che ha per effetto di dirigere le correnti, si può esprimere così: *Ogni corrente verticale mobile intorno ad un asse pure verticale, sotto l'influenza della terra si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e si ferma, dopo alcune oscillazioni, all'est del suo asse di rotazione, se essa è discendente, all'ovest se ascendente.*

Questo fatto si può constatare coll'esperienza per mezzo di un apparecchio formato di due vasi di rame a e K (fig. 509) di disuguale grandezza. Il più grande, a, del diametro di circa 30 centimetri, ha nel suo centro un'apertura entro la quale passa una colonna di ottone b, isolata dal vase a, ma comunicante col vase K. Questa co-

lonna è terminata da una piccola capsula nella quale s'appoggia, mediante un perno, un'asta leggiera di legno. Ad un capo di quest'asta si avvolge un filo di platino *ce*, i cui estremi vanno ad immergersi entro acqua acidulata, che empie i due vasi.

La corrente di una pila che giunga pel filo *m*, come mostra nella figura la direzione delle freccie, entra in un nastro di rame, il quale passa sotto la tavoletta su cui si appoggia tutto l'apparato, ed è saldato al piede della colonna *b*. Salendo allora per questa colonna, la corrente arriva al vase K ed all'acqua acidulata in esso contenuta, indi nel filo *c*, scende poi pel filo *e*, e, traversando il liquido contenuto nel vase inferiore, giunge alle pareti di questo, indi pel filo *n* è ricondotta alla pila.

Fig. 510.

Fig. 509 ($a = 30$).

Essendo così chiuso il circuito, il filo *e* si muove attorno alla colonna *b* e si ferma all'est di questa colonna, se la corrente è discendente, come mostra la figura. Facendo invece giungere la corrente della pila pel filo *n*, cioè facendo attraversare il filo *e* da una corrente ascendente, questo filo si ferma all'ovest della colonna *b* nella posizione diametralmente opposta a quella in cui si disponeva quando la corrente era ascendente.

Se all'asta di legno munita di uno solo filo (fig. 509) si sostituisce quella a due fili rappresentata dalla figura 510, questo sistema non ha più tendenza a prendere alcuna

direzione, perchè, siccome ambedue i fili tendono a collocarsi all'est, ovvero all'ovest della colonna *b*, i due sforzi eguali e di contraria direzione si fanno equilibrio.

678. **Azione della terra sulle correnti orizzontali mobili attorno ad un asse verticale.** — L'azione della terra sulle correnti orizzontali non consiste più nel dirigerle, ma nell'*imprimere alle medesime un moto di rotazione continuo dall'est all'ovest passando pel nord, se la corrente si allontana dall'asse di rotazione, e dall'ovest all'est passando pel nord, se la corrente è diretta verso l'asse.*

Questa azione sulle correnti orizzontali viene dimostrata per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 511,

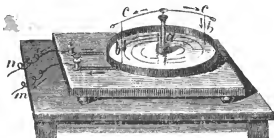



Fig. 511 ($a = 15$).

il quale differisce da quello della figura 509 soltanto perchè ha un vase solo. La corrente, salendo per la colonna *a*, passa nei fili *cc* e discende pei fili *bb* dai quali ritorna alla pila. Allora il circuito *bccb* ruota continuamente dall'est all'ovest o dall'ovest all'est passando pel nord, secondo che nei fili *cc* la corrente si allontana dal centro, come indica la figura, ovvero si dirige verso il centro, il che si otterrebbe facendo giungere la corrente per l'altro filo *m*.

Ora si è veduto (677, fig. 510) che con questa disposizione l'azione della terra sui fili verticali *bb* è distrutta; dunque la rotazione è prodotta dall'azione della medesima sui rami orizzontali *cc*.

679. **Azione direttrice della terra sui circuiti chiusi e mobili attorno ad un asse verticale.** — Se il circuito percorso dalla corrente, e sul quale agisce la terra, è chiuso, sia poi circolare o rettangolare, non si produce più una rotazione continua, ma un'azione di-

rettrice, come nel caso delle correnti verticali (677), per la quale *il circuito si colloca in un piano perpendicolare al meridiano magnetico e in modo che la corrente discenda nella parte che trovasi all'est dell'asse di rotazione ed ascenda nella parte posta verso ovest.*

Questa proprietà, la quale si dimostra col mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 512, è una conseguenza di ciò che fu detto intorno alle correnti verticali ed orizzontali. Infatti, nel circuito chiuso ABD la corrente nella parte superiore e nella inferiore tende a produrre rotazioni in verso contrario, secondo la legge delle correnti orizzontali (678), e, per conseguenza, non produce verun effetto. Invece nelle parti laterali la corrente agisce per disporne l'una all'est e l'altra all'ovest, conformemente alla legge delle correnti verticali (677).

A motivo della azione direttrice della terra sulle cor-

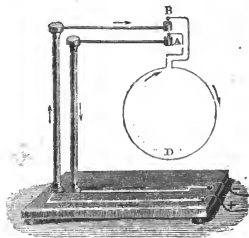



Fig. 512. ($a = 42$).

renti, è necessario, nella maggior parte delle esperienze di questo genere, sottrarre le correnti a quest'azione. Perciò si dà al circuito mobile una forma simmetrica rispetto al suo asse di rotazione, in modo che le azioni direttrici della terra sulle due parti del circuito tendano a farlo girare in versi contrarii e quindi si distruggano. A questa condizione soddisfano i circuiti rappresentati nelle figure 515 e 516. Alle correnti che li percorrono si dà perciò il nome di *correnti astatiche*.

Tutte le azioni della terra sulle correnti (677, 678 e 679) avranno quanto prima una facile spiegazione (694) appoggiata sulle azioni vicendevoli che si esercitano tra due correnti elettriche (684 al 693) e sulla ipotesi dovuta ad Ampère, che la terra sia percorsa da correnti elettriche dirette dall'est all'ovest, perpendicolari al meridiano magnetico.

CAPITOLO IV.

ELETTRO-DINAMICA, ATTRAZIONE E RIPULSIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI.

680. **Azioni mutue delle correnti elettriche.** — Quando due fili metallici vicini sono attraversati simultaneamente da correnti elettriche, si producono tra questi fili, a norma della direzione relativa delle due correnti, delle attrazioni o delle ripulsioni analoghe a quelle che si esercitano tra i poli di due calamite. Questi fenomeni osservati per la prima volta da Ampère, poco tempo dopo la scoperta di Œrsted (671), costituiscono un ramo della elettricità dinamica, che si distingue col nome di *elettro-dinamica*. Le leggi che li reggono presentano differenti casi secondo che le correnti sono parallele o angolari, rettilinee o sinuose.

681. **Leggi delle correnti parallele.** — 1.ª *Due correnti parallele e dirette nello stesso verso si attraggono;*

2.ª *Due correnti parallele e dirette in versi contrarii si respingono.*

Per dimostrare queste leggi si divide il circuito percorso dalla corrente in due parti, l'una fissa e l'altra mobile, come mostra la figura 513. La parte fissa si compone di due colonne di ottone collocate verticalmente sopra una tavoletta di legno. Quando l'elettrodo positivo di una pila di quattro o cinque coppie di Bunsen comunichi col piede della colonna, che è alla sinistra nella figura, la corrente ascende in questa colonna e giunge ad un filo A, indi ad una capsula B, che contiene del mercurio. Qui incomincia la parte mobile del circuito, che è composta di un filo di rame, una estremità del quale posa, per mezzo di un perno, sulla capsula B e l'altra si immerge nella capsula C, da cui la corrente ascende nella colonna destra comunicante alla sua sommità coll'elettrodo negativo della pila.

Dalla disposizione delle frecce si vede che la corrente va in verso contrario nelle colonne e nel circuito mobile. Ora, quest'ultimo, che prima del passaggio della corrente deve essere collocato nel piano degli assi delle colonne, tosto che la corrente passa, se ne allontana, ruotando sul suo perno B, il che dimostra la seconda legge.

Per dimostrare la prima, si toglie il circuito mobile della figura 513 e gli si sostituisce quello rappresentato

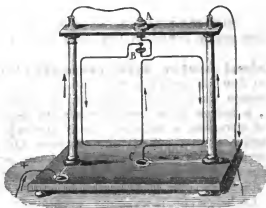



Fig. 513 ($a = 51$).

nella figura 514. Allora la corrente si dirige nello stesso verso nelle colonne e nella parte mobile, e si riconosce che v'è attrazione perchè il circuito mobile torna sempre nel piano degli assi delle due colonne appena che ne sia rimosso.

682. **Leggi delle correnti angolari.** — 1.ª *Due correnti rettilinee, le cui direzioni facciano un angolo tra loro, si attraggono quando si avvicinano ambedue al vertice dell'angolo od ambedue se ne allontanano.*

2.ª *Se una delle correnti va verso il vertice dell'angolo e l'altra se ne allontana, esse si respingono.*

Per dimostrare queste due leggi si fa uso generalmente di un apparato, che venne descritto nelle edizioni precedenti, dovuto a Pouillet. Ma questo apparato funziona con difficoltà e vale meglio usare quello assai sensibile, rappresentato dalla figura 516, che è una modificazione di altro adottato da Ampère per dimostrare le leggi delle correnti angolari e descritto nel trattato di elettricità di De la Rive.

Si vede facilmente che questo apparato è quel medesimo rappresentato dalle figure 508 e 512, solchè sulla tavoletta si pone un piccolo telajo *mn* sul quale s'avvolgono parecchi giri di un filo grosso, che traduce la corrente in modo

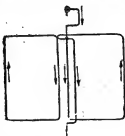
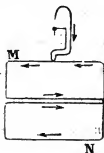



Fig 514. *Fig.* 515.

di moltiplicare l'azione di essa sul circuito mobile PQ, il quale è astatico. La corrente, introducendosi per la base della colonna A, entra nel circuito PQ, lo percorre nel

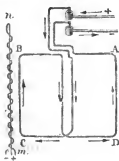
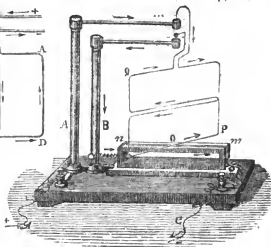



Fig. 517. *Fig.* 516.

verso indicato dalle frecce, poi ritorna per la colonna B, va al moltiplicatore ed esce in C. Ora, se si dispone il circuito mobile in modo che il suo piano faccia un an-

golo col moltiplicatore e che la corrente si allontani dal vertice dell'angolo nei due fili, si osserva che, appena chiuso il circuito, l'angolo PO*m* diminuisce, il che dimostra, in conformità della prima legge, l'attrazione che si esercita tra le due correnti. Al contrario, sostituendo al circuito PQ il circuito MN (fig. 515), e, trovandosi così le due correnti dirette in versi contrarii rispetto al vertice dell'angolo PO*m*, si vede questo angolo crescere, il che dimostra esservi ripulsione tra le due correnti, e prova così la seconda legge.

Dalla seconda delle leggi precedenti Ampère conchiuse che una corrente angolare tende a raddrizzarsi, e che *in una corrente rettilinea ogni elemento della corrente respinge l'elemento seguente e ne è respinto.* Ordinariamente si tenta di dimostrare questo principio facendo vedere che quando la corrente passa da un bagno di mercurio in un piccolo filo di rame, che galleggia sulla superficie del liquido, questo filo è respinto; ma la resistenza risultante dal cangiamento di conduttore può bastare da sola a produrre il fenomeno.

683. **Leggi delle correnti sinuose.** — *L'azione di una corrente sinuosa equivale a quella di una corrente rettilinea lunga quanto la projezione della sinuosa sulla stessa rettilinea.* Questo principio si dimostra disponendo una corrente *mno* (fig. 517), metà sinuosa e metà rettilinea, vicino ad una corrente mobile ABCD. Allora non si osserva attrazione nè ripulsione, il che dimostra essere l'azione della parte sinuosa *mn* eguale e contraria a quella della parte rettilinea *no.*

Di questo principio sulle correnti sinuose vedremo ben presto una applicazione nei piccoli apparati che si chiamano solenoidi, i quali risultano dalla combinazione di una corrente rettilinea con una sinuosa (689).

DIREZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI.

684. **Azione di una corrente indefinita sopra una corrente perpendicolare alla sua direzione.** — Dall'azione che esercitano tra loro due correnti angolari (682) si può facilmente dedurre quella di una corrente rettilinea PQ (fig. 518), fissa e indefinita sopra una corrente mobile KH perpendicolare alla sua direzione. E invero, rappresenti OK la perpendicolare comune

alle due rette KH e PQ, la quale sarà di lunghezza nulla nel caso in cui queste due linee si incontrino. Essendo la corrente PQ diretta da Q verso P, come indicano le frecce, consideriamo dapprima il caso che la corrente KH si avvicini alla corrente PQ. Giusta la prima legge delle correnti angolari (682), la parte QO della corrente PQ attrae KH, perchè queste correnti si dirigono ambedue verso il ver-

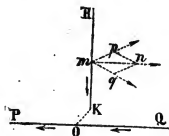
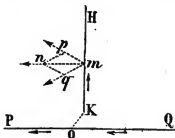



Fig 518. *Fig.* 519.

tice dell'angolo compreso dalle loro direzioni. Invece la parte PO della corrente PQ respinge la corrente KH perchè qui le due correnti si dirigono oppostamente rispetto al vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni. Rappresentando adunque con *mq* ed *mp* le due forze attrattiva e ripulsiva, che sollecitano la corrente KH ed hanno necessariamente la stessa intensità, perchè il sistema è simmetrico dalle due bande del punto O, si sa (29) che queste due forze si compongono in una forza unica *mn*, la quale tende a trasferire la corrente KH parallelamente alla corrente PQ in verso opposto alla direzione di quest'ultima.

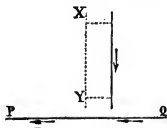
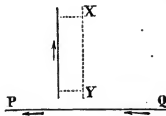



Fig. 520. *Fig.* 521.

Passando al caso in cui la corrente KH si allontana dalla corrente PQ (fig. 519), si riconosce facilmente che

essa è ancora trascinata parallelamente a PQ, ma nello stesso verso in cui procede quest'ultima corrente.

Si può dunque stabilire questo principio generale: *Una corrente finita mobile, che si avvicina ad una corrente fissa indefinita, viene sollecitata a muoversi in direzione parallela ed in verso opposto a quello della corrente fissa: che se la corrente mobile si allontana dalla fissa, è allora sollecitata a muoversi parallelamente a questa e nel medesimo verso.*

Da ciò segue che quando una corrente verticale è mobile intorno ad un asse XY parallelo alla sua direzione (fig. 520 e 521), ogni corrente orizzontale PQ produce l'effetto di farla girare attorno al suo asse *fino a che il piano dell'asse e della corrente non divenga parallelo a* PQ, e che la corrente verticale si ferma allorquando è situata rispetto al suo asse *da quella banda d'onde viene la corrente* PQ (fig. 520), ovvero *dalla banda verso la quale essa si dirige* (fig. 521), *secondo che la corrente verticale è discendente od ascendente;* cioè secondo che questa si avvicina o si allontana dalla corrente orizzontale.

Da questo principio si deduce che un sistema di due correnti verticali girevoli insieme attorno ad un asse verticale (fig. 522 e 523) viene diretto da una corrente orizzontale PQ in un piano parallelo a questa corrente, allorchè una delle correnti verticali è ascendente e l'altra discendente (fig. 522); e che se invece sono ambedue discendenti (fig. 523) od ascendenti, la corrente orizzontale non le dirige.

685. **Azione di una corrente rettilinea indefinita sopra una corrente rettangolare o circolare.** — Si riconosce facilmente che una corrente rettilinea orizzontale indefinita esercita sopra una corrente rettangolare mobile attorno ad un asse verticale (fig. 524) la stessa azione direttrice or ora esposta. Infatti, giusta la direzione delle correnti segnate dalle frecce, la parte QY opera per attrazione non solo sulla parte orizzontale YD (legge delle correnti angolari), ma anche sulla parte verticale AD (legge delle correnti perpendicolari, 684.) La stessa azione si esercita evidentemente tra la parte PY e le parti CY e BC. Dunque *la corrente fissa* PQ *tende a dirigere la corrente rettangolare mobile* ABCD *in una posizione parallela a* PQ *e tale che nei fili* CD *e* PQ *le correnti siano dirette nello stesso verso.*

Questo principio si può dimostrare facilmente coll'esperimento, collocando il circuito ABCD sull'apparato a due

colonne (fig. 512), e facendovi passare al di sotto una corrente alquanto intensa, la quale a principio faccia con esso un angolo più o meno acuto. Però, sarà preferibile

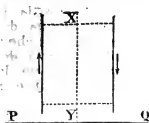
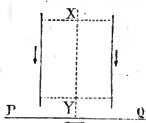



Fig. 522. *Fig.* 523

l'uso dello stesso circuito rappresentato nella figura 508, il quale è astatico (679) mentre quello della figura 524 non è tale.

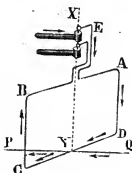
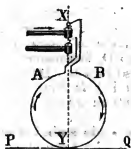



Fig. 524. *Fig.* 525.

Quanto si è detto della corrente rettangolare della figura 524 si applica esattamente anche alla corrente circolare della figura 525, e coll'esperimento del pari si può averne la conferma.

ROTAZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI.

686. **Rotazione di una corrente orizzontale finita per mezzo di una corrente rettilinea orizzontale indefinita.** — Le attrazioni e ripulsioni tra le correnti angolari si possono facilmente trasformare

in moto circolare continuo. Per intendere questa trasformazione, si immagini una corrente OA (fig. 526) mobile attorno al punto O in un piano orizzontale, e sia PQ una corrente indefinita, anch'essa orizzontale. Se queste due correnti sono dirette nel verso delle frecce, si vede che nella posizione OA la corrente mobile è attratta dalla PQ, perchè camminano nello stesso verso. Giunta che sia nella posizione OA', la corrente mobile è attratta dalla parte NQ della corrente fissa, e respinta dalla parte PN. Parimenti, nella posizione OA'', è attratta da MQ e re-

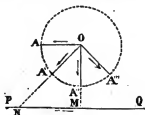



Fig. 526.

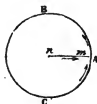



Fig. 527.

spinta da PN, e così di seguito. Ne risulta un moto rotatorio continuo nel verso AA'A''A'''.... Se la corrente mobile, invece di essere diretta da O verso A, venisse da A verso O, facilmente si vede che la rotazione avverrebbe in verso opposto. Dunque *in causa della corrente fissa indefinita* PQ, *la corrente mobile* OA *tende a girare continuamente in una direzione inversa di quella della corrente fissa.*

Se, essendo ambedue le correnti tuttavia orizzontali, la corrente fissa fosse circolare in luogo di essere rettilinea, di leggieri si comprende che il suo effetto sarà ancora la produzione di un moto circolare continuo. Infatti, in un piano orizzontale siano collocate due correnti, l'una ABC (fig. 527), fissa e circolare, l'altra *mn* rettilinea e mobile intorno al centro *n*. Se queste correnti sono dirette nel verso delle frecce, si attraggono entro l'angolo *n*AC, perchè dirigonsi ambedue verso il vertice (682, 1.ª) Nell'angolo *n*AB, al contrario, esse si respingono, perchè l'una va verso il vertice, mentre l'altra se ne allontana. Adunque i due effetti cospirano per far ruotare il filo *mn* continuamente nel verso ABC.

687. — **Rotazione di una corrente verticale per mezzo di una corrente circolare orizzontale.** — Una corrente circolare orizzontale, che opera so-

pra una corrente verticale rettilinea, può del pari imprimerle un moto rotatorio continuo. Per dimostrarlo, si fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 528, composto di un vase di rame attorno al quale si avvolge un nastro dello stesso metallo, coperto di seta o di lana e percorso da una corrente fissa. Al centro del vase trovasi una colonna di ottone *a* terminata da una capsula, che contiene del mercurio. In questa capsula entra un perno che sostiene un filo di rame *bb* piegato alle sue estremità

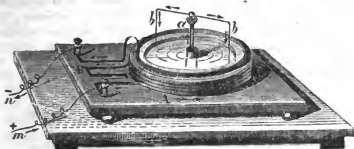



Fig. 528 ($a = 16$).

in modo di formare due rami verticali, i quali sono saldati ad un anello leggierissimo di rame immerso nell'acqua acidulata contenuta nel vase. Ciò posto, la corrente di una pila, allorchè giunge pel filo *m*, passa nel nastro A, e, dopo parecchi giri attorno al vase, va al filo B e di lì, per di sotto al vase, arriva al piede della colonna *a*. Salendo allora per questa colonna, va nei fili *bb*, nell'anello di rame, nell'acqua acidulata e nelle pareti del vase, dalle quali ritorna alla pila pel filo D Essendo così chiuso il circuito, i fili *bb* e l'anello cominciano a girare in verso contrario della corrente fissa; il qual moto è dovuto unicamente all'azione della corrente circolare sui rami verticali *bb*, come facilmente si desume dalle due leggi delle correnti angolari; poichè il ramo *b* di destra è attratto all'innanzi dalla parte A del circuito fisso, ed il ramo *b* di sinistra è attratto all'indietro dalla porzione opposta. L'azione poi della corrente circolare sulla parte orizzontale del circuito mobile è nulla, perchè in ciascuna delle due metà di questa parte orizzontale si allontana dal centro.

688. **Rotazione delle calamite per mezzo delle correnti.** — Come le correnti imprimono moto di rota-

zione alle correnti, possono imprimerlo anche alle calamite, ciò che Faraday, pel primo, dimostrò, servendosi dell'apparecchio rappresentato dalla figura 529. Esso è composto d'un vase di vetro quasi pieno di mercurio. Nel centro di questo liquido galleggia una calamita della lunghezza di circa 20 centimetri, che sporge di alcuni millimetri sul livello del mercurio ed è zavorrata inferiormente con un cilindro di platino *p*, come è rappresentata in *ab* alla destra della stessa figura. Superiormente la calamita porta una piccola capsula di rame, che contiene del mercurio e nella quale si fa entrare la corrente, per mezzo di un'asta C. Ciò premesso, quando la corrente, entrando per la colonna A, passa nella calamita, indi nel mercurio, per escire poi dalla colonna D, si vede la calamita girare attorno al suo asse con una velocità, che

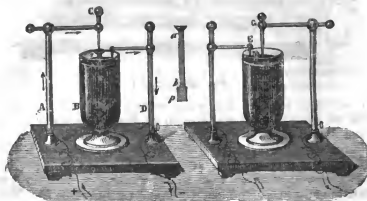



Fig. 529. *Fig.* 530.

dipende dalla sua forza magnetica e dalla intensità della corrente.

Questo moto di rotazione viene spiegato per mezzo della teoria di Ampère (694), giusta la quale le calamite sono percorse alla loro superficie da correnti circolari dirette nel medesimo verso in piani perpendicolari al loro asse. Ciò posto, allorchè la corrente considerata nell'esperimento precedente passa dalla calamita nel mercurio, essa si divide, alla superficie di questo liquido, in una moltitudine di correnti rettilinee dirette dall'asse della calamita verso la periferia del vase. Ora, ciascuna di queste correnti opera sulle correnti della calamita come la corrente rettilinea *mn* (fig. 527) sulla corrente circolare

CAB, cioè se CAB rappresenta una delle correnti della calamita, v'è attrazione nell'angolo nAC e ripulsione nell'angolo nAB, e, per conseguenza, rotazione continua della calamita sul suo asse. L'azione della corrente viene esercitata soltanto sulla estremità superiore della calamita; e, se trovasi in alto il polo australe, la rotazione avviene dall'ovest all'est passando pel nord. Il verso della rotazione cangia quando si collochi il polo australe in basso, ovvero si inverta la corrente.

Disponendo l'esperimento nel modo indicato dalla figura 530 la calamita ruota non più intorno all'asse, ma intorno ad una retta parallela al medesimo.

SOLENOIDI.

689. **Composizione di un solenoide.** — Chiamasi *solenoide* un sistema di correnti circolari eguali e parallele, formate da un solo filo di rame coperto di seta e piegato sopra sè stesso ad elice, come mostra la figura 531. Però, a rendere compiuto un solenoide, bisogna che si ripieghi una parte BC del filo nella direzione dell'asse nell'interno dell'elice. Attesa questa disposizione,

Fig. 531.

risulta da quanto si è detto sulle correnti sinuose (683) che, quando il circuito è percorso da una corrente, l'azione del solenoide nel verso della sua lunghezza AB è distrutta da quella della corrente rettilinea AC. Per conseguenza *l'effetto di un solenoide in direzione perpendicolare all'asse equivale rigorosamente a quello di una serie di correnti circolari eguali e parallele.*

690. **Azioni delle correnti sui solenoidi.** — Siccome ciò che si è detto circa l'azione delle correnti rettilinee fisse sulle correnti finite rettangolari o circolari (685) si applica evidentemente a ciascuno dei circuiti di un solenoide, ne risulta che una corrente rettilinea deve tendere a dirigere questi circuiti parallelamente a se stessa. Per constatare questo fatto coll'esperienza, si costruisce il solenoide, come mostra la figura 532, e lo si sospende per due punte sulle capsule A e B dell'apparecchio rap-

presentato nella figura 512. Allora il solenoide è mobilissimo attorno ad un perno verticale, e, facendo passare al di sotto del medesimo, parallelamente al suo asse, una corrente rettilinea la quale passi contemporaneamente nel solenoide, si vede quest' ultimo ruotare e disporsi perpendicolarmente alla corrente fissa, ossia in posizione tale che i suoi circuiti si trovino paralleli alla corrente fissa, ed inoltre che nella parte inferiore di ciascuno di essi la corrente si diriga nello stesso verso che nel filo rettilineo.

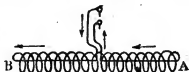



Fig. 532.

Se invece di far passare una corrente rettilinea orizzontale al di sotto del solenoide, la si fa passare verticalmente a lato del medesimo, si osserva un' attrazione od una ripulsione secondo che la corrente del filo verticale e quella della parte più vicina del solenoide sono dirette nello stesso verso od in versi contrarii.

691. **Azione direttrice della terra sui solenoidi.** — Appoggiando sui vasetti A e B dell' apparato a due colonne del figura 512 il solenoide a sospensione rappresentato nella figura 532, e disponendolo da principio fuori del meridiano magnetico, si osserva che, appena sia attraversato da una corrente abbastanza energica, esso si muove, indi si ferma in una direzione tale che il suo asse è parallelo alla direzione dell'ago di declinazione (562), ed inoltre che, nelle parti inferiori delle correnti circolari componenti il solenoide, la corrente è diretta dall' est all'ovest. Adunque l'azione direttrice della terra sui solenoidi è una conseguenza di quella ch'essa esercita sulle correnti circolari (679).

Siccome in quest'esperimento il solenoide si dirige come un ago magnetizzato, chiamasi *polo australe* di un solenoide quel suo estremo che si dirige verso il nord, e *polo boreale* quello che si volge al sud.

692. **Azioni mutue delle calamite e dei solenoidi.** — Quegli stessi fenomeni di attrazioni e di ripulsioni reciproche, che si osservano tra le calamite, si manifestano anche tra le calamite ed i solenoidi. Infatti,

presentando uno dei poli di una forte spranga magnetizzata ad un solenoide mobile ed attraversato da una corrente, avviene attrazione o ripulsione secondo che i poli della calamita e del solenoide, che si mettono in presenza, sono di nome contrario, ovvero dello stesso nome. E questo fenomeno ha pur luogo quando si presenti ad un ago magnetizzato mobile un solenoide, che si tiene in mano mentre è attraversato da una corrente. La legge delle attrazioni e delle ripulsioni delle calamite (551) si applica dunque esattamente alle azioni mutue dei solenoidi e delle calamite.

693. **Azioni mutue dei solenoidi.** — Quando si fanno agire l'uno sull'altro due solenoidi attraversati da una corrente abbastanza forte, tenendone uno in mano e collocando l'altro su un perno verticale la cui direzione

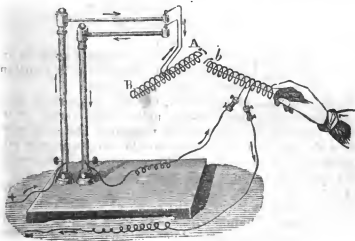



Fig. 533.

passi pel suo centro di gravità, come mostra la fignra 533, si osservano tra le estremità di questi due solenoidi dei fenomeni di attrazione e di ripulsione identici a quelli che presentano i poli delle calamite; questi fenomeni ricevono la loro spiegazione dalla direzione relativa delle correnti nelle estremità che si pongono in presenza l'una dell'altra (681).

694. **Teoria di Ampère sul magnetismo.** — Fondandosi sull'analogia che esiste tra i solenoidi e le

calamite, Ampère diede una teoria ingegnosa per mezzo della quale i fenomeni magnetici si comprendono nella serie degli elettro-dinamici.

Invece di attribuire i fenomeni magnetici all'esistenza di due fluidi (552), Ampère li fa dipendere da correnti voltiane circolari, che esisterebbero attorno alle molecole delle sostanze. magnetiche.

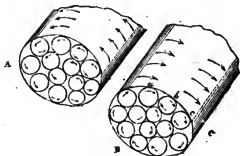



Fig. 534.

Quando queste sostanze non sono magnetizzate, le correnti molecolari hanno direzioni diverse, e la risultante delle loro azioni elettro-dinamiche è nulla.

Nelle calamite, al contrario, essendo le correnti molecolari parallele e tutte dirette nello stesso verso, le loro azioni concordanti hanno una risultante che equivale a quella di una corrente unica diretta circolarmente sulla superficie della calamità. Infatti, guardando la figura 534, nella quale le correnti molecolari sono rappresentate da una serie di piccole circonferenze interne sulle due basi d'una sbarra cilindrica, si riconosce che nelle parti contigue le correnti hanno direzioni opposte, e quindi non possono esercitare alcuna azione elettro-dinamica sui corpi vicini. Ma altrimenti accade delle correnti molecolari poste alle superficie; infatti, in *a*, *b*, *c*, non essendo le correnti neutralizzate da altre, e trovandosi questi punti consecutivamente disposti, ne risulta una serie di elementi dinamici cospiranti, situati in piani sensibilmente perpendicolari all'asse della calamita e che costituiscono nel loro insieme un vero solenoide.

Per riconoscere in qual verso siano dirette queste correnti nelle calamite, consideriamo dapprima il solenoide a sospensione rappresentato nella figura 532. Supponiamo che una corrente passi per esso mentre è in equilibrio nel meridiano magnetico col polo australe *a* diretto verso il nord.

Per l'azione della terra sui circuiti chiusi (679), la corrente, nella parte inferiore d'ogni spira del solenoide, è diretta da est ad ovest, ossia da destra a sinistra rispetto ad un osservatore che, collocato lungo l'asse del solenoide, guardi il polo australe. Se l'osservatore guardasse il polo boreale, avverebbe il contrario, cioè la corrente, nella parte inferiore d'ogni spira sarebbe diretta da destra a sinistra.

Ora, stante l'identità dei solenoidi colle calamite, a queste si applica tutto ciò che or ora fu esposto, e quindi si può dire con Faraday che *all'estremo sud di una calamita, cioè al suo polo boreale, le correnti di Ampère sono dirette nel verso del movimento degli indici di un orologio, e al polo australe, in verso contrario.*

A compimento della sua teoria, per ispiegare il magnetismo terrestre, Ampère ammise inoltre l'esistenza di correnti elettriche circolanti continuamente attorno al nostro globo dall'est all'ovest in direzione perpendicolare al meridiano magnetico. Quanto alla loro natura, queste correnti sarebbero termo-elettriche (731), dovute cioè alle variazioni di temperatura risultanti dalla presenza successiva del sole sopra le differenti parti della superficie del globo da levante a ponente.

Queste correnti sono la causa della direzione degli aghi delle bussole e della naturale polarità magnetica di alcuni minerali di ferro. Da queste si deve altresì ripetere l'azione della terra sulle correnti orizzontali e verticali (677 e 678), la quale ora si spiega facilmente in base a ciò che fu detto circa l'azione di una corrente orizzontale indefinita sopra le correnti orizzontali e le verticali (684 e 685).

CAPITOLO V.

MAGNETIZZAZIONE PER MEZZO DELLE CORRENTI, ELETTRO-CALAMITE, TELEGRAFI ELETTRICI.

695. Magnetizzazione per mezzo delle correnti. — Dietro la cognizione della influenza che esercitano le correnti sulle calamite, deviandone il polo australe a sinistra ed il boreale a destra (671), è facile l'immaginare che le correnti, operando sopra le sostanze magnetiche allo stato naturale, tendano a separarne i due fluidi magnetici. E difatti, si osserva che, introducendo nella limatura di ferro un filo percorso dalla corrente, la limatura vi aderisce in copia e ricade tosto al cessare della cor-

rente, mentre invece non è esercitata alcuna azione sulla limatura di qualsiasi altro metallo non magnetico.

L'azione delle correnti sulle sostanze magnetiche è sensibile principalmente quando si avvolga, come fece Ampère, un filo di rame coperto di seta attorno ad un tubo di vetro, e si collochi entro questo tubo una verga d'acciajo non magnetizzata. Si osserva che basta il passaggio anche momentaneo della corrente per magnetizzare fortemente la verga.

Se, invece di far passare pel filo la corrente della pila, lo si fa attraversare dalla scarica di una bottiglia di Leyda, mettendo in comunicazione uno dei capi coll'armatura esterna l'altro coll'interna, si trova del pari che la verga viene magnetizzata. Adunque si può magnetizzare e coll'elettricità voltiana e con quella delle macchine.

Fig. 535.

Fig. 536.

Nell'esperimento precedente il filo può avvolgersi da sinistra a destra nella parte superiore del cilindro, ed allora si ha un'*elice destrorsa* (fig. 535), ovvero invece da sinistra a destra nella parte inferiore, ed allora si ha una *elice sinistrorsa* (fig. 536). Nella prima elice il polo boreale della verga è sempre all'estremità per cui entra la corrente, nell'altra trovasi all'estremo opposto.

La natura del tubo sul quale si avvolge il filo ha talvolta notabile influenza sull'effetto della corrente. Il legno ed il vetro non producono veruna alterazione, ma un grosso cilindro di ottone può distruggere compiutamente l'effetto della corrente. Altrettanto avviene col ferro, coll'argento e collo stagno.

Del resto, per magnetizzare una sbarra di acciajo per mezzo della elettricità, non è necessario collocarla entro un tubo, come è indicato dalle figure 535 e 536; basta circondarla in tutta la sua lunghezza con un filo di rame coperto di seta per isolare uno dall'altro i circuiti del filo.

L'azione della corrente trovasi per tal guisa moltiplicata quando la si fa passare nel filo, e basta una corrente poco intensa per ottenere una potente calamita.

Giusta molteplici esperimenti fatti da De Haldat, un cilindro di ferro dolce, cavo, per quanto sia sottile, quando è posto in un'elice percorsa da una corrente, acquista sensibilmente la stessa intensità magnetica che un cilindro massiccio delle stesse dimensioni. De Haldat ne conchiuse che nelle calamite il fluido magnetico risiede interamente alla superficie, e la loro massa non esercita quasi veruna influenza sulla loro potenza magnetica.

696. **Elettro-calamite.** — Si chiamano *elettro-cala-*

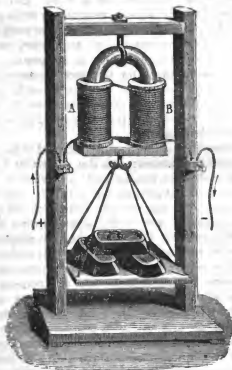



Fig. 537.

mite o *calamite temporarie* delle spranghe di ferro dolce che si magnetizzano sotto l'influenza di una corrente voltiana, ma solo temporariamente, perchè, essendo minima la forza coercitiva del ferro dolce (555), i due fluidi magnetici si neutralizzano tosto che la corrente non passa

più pel filo. Però, se il ferro non è perfettamente puro, conserva delle tracce più o meno sensibili di polarità magnetica. Le elettro-calamite si dispongono per lo più a ferro di cavallo, come mostra la figura 537, e si avvolge sui due rami, per un gran numero di giri, uno stesso filo di rame coperto di seta in modo di formare due rocchetti A e B. Il filo deve avvolgersi in versi contrarii sui due rocchetti, affinchè le due estremità della spranga siano poli di nome contrario. Vennero fatte molte indagini per determinare le condizioni più favorevoli ad ottenere dalle calamite temporarie la maggiore forza possibile, e per valutare l'influenza esercitata dalle dimensioni del ferro, dal diametro e dal numero dei giri del filo conduttore, e, finalmente, dalla intensità magnetica della corrente che percorre il filo. Sebbene i risultanti sinora avuti non siano abbastanza concordanti, si ammette, in generale, che le migliori condizioni siano le seguenti:

1.° Il ferro della calamita temporaria deve essere dolce quanto più si può; e questa qualità dipende non solo dal suo grado di purezza, ma principalmente dal modo di lavorarlo. Si deve ricuocerlo più volte avendo cura di raffreddarlo assai lentamente.

2.° La forma e le dimensioni della sbarra modificano la sua potenza magnetica; ma dai lavori di Lenz, Jacobi, Muller, Dub e Niklès risulta che, a parità di tutte le altre condizioni, la lunghezza dei rami di una calamita a ferro di cavallo non ha veruna influènza sul peso ch'essa può portare, quando però i fili sono avvolti sui due rocchetti in versi contrarii. Che se la sbarra è rettilinea e forma perciò un solo rocchetto, ovvero se, essendo a ferro di cavallo, il filo è avvolto sui due rocchetti nel medesimo verso, il potere attrattivo aumenta al crescere della lunghezza della sbarra. Riguardo alla grossezza del cilindro di ferro dolce, il dottore Dub ha trovato recentemente che la potenza di una calamità temporaria per far deviare l'ago magnetico è proporzionale alla radice quadrata del suo diametro, e, quanto al portare pesi, la potenza della calamita è proporzionale al suo stesso diametro. Finalmente, per forti correnti, la potenza di una elettro-calamita aumenta coll'allontanamento dei rocchetti. « In generale, dicono i signori Becquerel nel loro trattato di elettricità, si assegnano le dimensioni seguenti: la lunghezza di ogni ramo cinto da filo è tra 2 volte e mezzo e 4 volte il diametro della sbarra di ferro; la distanza

di un ramo dall'altro nell'interno è da una volta e mezzo a due volte il diametro del ferro; la lunghezza del filo avvolto varia secondo gli effetti che si vogliono produrre, e si continua generalmente ad avvolgere filo sino a che i due rocchetti si tocchino cogli ultimi giri del filo avvolto.»

3.° Per correnti poco energiche si ammette che, a parità di condizioni, l'intensità magnetica della calamita temporaria sia proporzionale al numero delle spire del rocchetto; ma questa legge si può ammettere soltanto sino ad un certo limite, perchè la potenza magnetica di ogni calamita ha un valore massimo, che corrisponde al punto di saturazione. Del resto, la lunghezza del filo, e per conseguenza il numero delle spire, variano cogli effetti che si vogliono ottenere. Se, per esempio, trattasi di costruire una calamita temporaria per portare grossi pesi, si deve adoperare una pila di molta superficie, scegliere un filo grosso, da un millimetro sino a 3 o 4 di diametro, e perciò non si potranno applicare molti giri. Se, invece, si fa uso di corrente debole, come nella telegrafia elettrica, conviene sciegliere un filo assai lungo e sottile per ottenere un gran numero di giri ed aumentare così la potenza della calamita temporaria.

Vedremo fra poco le importanti applicazioni delle elettro-calamite alla telegrafia elettrica, agli orologi elettrici, ai motori elettro-magnetici ed allo studio dei fenomeni diamagnetici.

697. **Moto vibratorio e suoni prodotti dalle correnti.** — Quando un'asta di ferro dolce si magnetizza per l'influenza di una intensa corrente elettrica, all'istante in cui il circuito si chiude o si apre, si ode un suono ben distinto, il quale varia secondo la lunghezza dell'asta. Questo fenomeno, osservato prima da Page in America e da Delezenne in Francia, fu studiato principalmente da De La Rive, il quale lo attribuisce ad un moto vibratorio prodotto nel ferro da una rapida successione di magnetizzazioni e smagnetizzazioni.

Coll'interrompere e ristabilire la corrente ad intervalli brevissimi di tempo, questo scienziato osservò che, qualunque sia la forma e la grandezza delle aste di ferro dolce, si odono sempre due suoni; uno, che è musicale, corrisponde a quello che darebbe la sbarra vibrando trasversalmente; l'altro, che consiste in una serie di colpi corrispondenti alle alternative della corrente, è paragonato da De La Rive allo scroscio di pioggia cadente sopra un

tetto di metallo. Il più distinto suono, dice De La Rive, si ottiene tendendo sopra una cassa armonica dei fili di ferro dolce del diametro di 1 o 2 millimetri, bene ricotti e lunghi da 1 a 2 metri. Collocati questi fili lungo l'asse d'uno o più rocchetti attraversati da energiche correnti, producono un complesso di suoni il cui effetto è sorprendente, e somiglia molto a quello di parecchie campane molto distanti che suonino insieme.

De La Rive ottenne gli stessi suoni facendo passare la corrente discontinua, non già nei rocchetti che circondano i fili di ferro, ma entro i fili medesimi. Allora il suono musicale riesce anche più forte e distinto che nel primo esperimento.

L'ipotesi di un moto molecolare nei fili di ferro, al cominciare ad al cessare della loro magnetizzazione, è confermata dalle ricerche di Wertheim, il quale trovò che i fili perdono allora in parte la loro elasticità, e da quelle di Joule, il quale constatò che il diametro dei fili diminuisce e cresce la loro lunghezza.

TELEGRAFI ELETTRICI.

698. **Differenti sorta di telegrafi elettrici.** — I *telegrafi elettrici* sono apparati che servono a produrre dei segnali a grande distanza, per mezzo di correnti voltiane trasmesse per lunghi fili metallici. Fino dal secolo passato parecchi fisici avevano proposto di costruire degli apparati telegrafici fondati sugli effetti prodotti dalla elettricità delle macchine elettriche, quando essa si propaga nei fili conduttori isolati.

Nel 1811, Soemmering immaginò un telegrafo in cui si adoperava come mezzo indicatore la decomposizione dell'acqua, prodotta dalla pila. Nell'anno 1820, non conoscendosi ancora l'elettro-calamita, Ampère, sussidiato dall'esperimento di Œrsted (671), propose di stabilire la corrispondenza per mezzo di aghi magnetizzati, al di sopra dei quali dirigevasi una corrente, adoperando tanti aghi e tanti fili quante sono le lettere dell'alfabeto. Nel 1837 Steinheil, a Monaco, e Wheatstone, a Londra, costruivano dei telegrafi a parecchi fili, ciascuno dei quali agiva sopra un ago magnetizzato; la sorgente elettrica era un apparato elettro-magnetico di Clarke od una pila a corrente costante. Ma il telegrafo non poteva acquistare tutta la desiderabile semplicità se non per mezzo dell'elettro-calamita. Questo sistema fu adottato da Wheatstone nel 1840.

Conservando sempre lo stesso principio, fu variata molto la forma dei telegrafi elettrici, i quali però si possono ridurre ai quattro seguenti, che qui successivamente descriveremo, cioè il telegrafo a quadrante, il telegrafo a segnali, il telegrafo scrivente, il telegrafo stampante ed il telegrafo elettro-chimico.

699. **Telegrafo elettrico a quadrante.** — Vi sono parecchie specie di telegrafi a quadrante. Le figure 538 e 539 rappresentano quello che è stato costrutto da Froment, da lui destinato alle dimostrazioni nelle scuole, ed il cui principio è quello istesso dei telegrafi stabiliti lungo alcune ferrovie. Come questi, esso è composto di due apparati distinti, l'uno, il *manipolatore*, destinato a trasmettere i segnali (fig. 538), l'altro, detto il *ricevitore*, destinato a riceverli (fig. 539). Il primo apparato comunica con una pila a carbone Q, ed i due apparati comunicano tra loro per mezzo di due fili di ferro o di rame, l'uno dei quali, OD, si stende dalla stazione di partenza a quella di arrivo, l'altro, HKLI, (fig. 539) da quest'ultima alla prima. Finalmente, i due apparati sono muniti ciascuno di un quadrante sul quale sono segnate le 25 lettere, e di un indice che si muove sul quadrante. La mano dello sperimentatore fa girare l'indice della stazione mittente, e l'elettricità fa avanzare quello dell'altra stazione.

Ciò posto, ecco la via che percorre la corrente nei due apparati, e gli effetti che produce. Dalla pila essa si trasmette, per mezzo di un filo di rame A (fig. 538), ad una lamina di ottone N, che è in contatto con una ruota metallica R; passa indi in una seconda lamina M, poi nel filo O, che comunica coll'altra stazione. Ivi la corrente entra nel rocchetto di una elettro-calamita *b*, che nella figura 539 non si vede, ma è rappresentata in profilo nella figura 540, la quale mostra la parte posteriore dell'apparato. Questa elettro-calamita è posta orizzontalmente e fissata ad uno de' suoi estremi, mentre coll'altro attrae un'àncora di ferro dolce *a*, la quale fa parte di una leva a gomito mobile attorno al suo punto d'appoggio *o*; una molla a spirale *r* sollecita la stessa leva in verso contrario.

Ora, quando la corrente passa, l'elettro-calamita attrae la leva *a*C, la quale, per mezzo di un'asta *i*, agisce sopra un'altra leva *d* fissata ad un asse orizzontale collegato ad una forchetta F. Quando la corrente è interrotta, la molla *r* riconduce la leva *a*C, e con essa tutti i pezzi che ne-

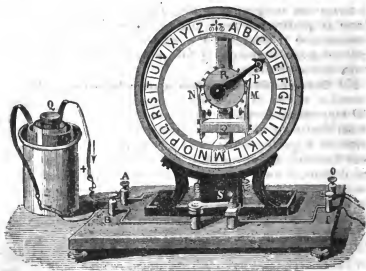



Fig. 538.

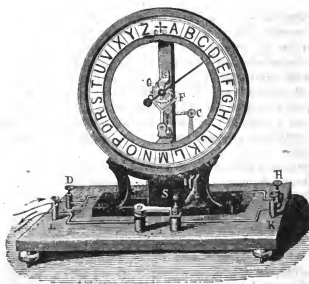



Fig. 539.

dipendono, alla posizione primitiva; risulta quindi un movimento alternativo, che si comunica alla forchetta F, la quale fa girare una ruota dentata G il cui asse porta l'indice. Questa ruota, a motivo della inclinazione de' suoi denti, è mossa dalla forchetta sempre nello stesso verso, come si conviene per l'effetto che si vuole ottenere.

Per intendere le intermittenze dell'elettro-calamita, bisogna riferirsi alla figura 538. La ruota R ha 26 denti, dei quali 25 corrispondono alle lettere dell'alfabeto e l'ultimo ad un intervallo lasciato tra le lettere A e Z. Allorchè, tenendo in mano il bottone P, si fa girare la ruota R, l'estremità della lamina N, per la sua curvatura, è sempre in contatto coi denti; la lamina M, al contrario, è terminata da un'ala conformata in modo che siavi successivamente contatto e distacco. Per conseguenza, se, dopo avere stabilite le comunicazioni colla pila, si fa avanzare l'indice P, per esempio fino alla quarta lettera, la corrente passa quattro volte da N in M e quattro volte è interrotta. Adunque l'elettro-calamita dell'altra stazione avrà attratta quattro volte l'àncora ed altrettante l'avrà abbandonata; perciò, in ultimo risultato, la ruota G avrà girato di quattro denti, e siccome ogni dente corrisponde ad una lettera, l'indice della stazione ricevente si sarà avanzata appunto dello stesso numero di lettere di quello della stazione mittente. Il pezzo S, rappresentato nelle due figure, è una lamina di ottone mobile su di una cerniera, il quale serve ad interrompere ovvero a chiudere ad arbitrio il circuito.

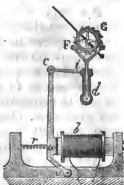



Fig. 540.

Dietro quanto precede, è facile l'intendere come si possa stabilire una corrispondenza da un luogo all' altro. Supponiamo, per esempio, che il primo apparato (fig. 538) sia a Milano, ed il secondo a Torino, e che, stabilita la comunicazione tra le due stazioni per mezzo di due fili metallici, si voglia trasmettere alla seconda città la parola *segno*. Mentre gli indici corrispondono ambedue all'intervallo lasciato tra le lettere A e Z, la persona che trovasi a Milano fa avanzare l'indice P sino alla lettera S, ove lo trattiene per un tempo brevissimo: e l'indice dell' apparato che trovasi a Torino, riproducendo fedelmente i

movimenti dell'indice di Milano, si ferma alla medesima lettera, e allora la persona che riceve il dispaccio nota questa lettera. La persona che trovasi a Milano, continuando a far girare l'indice sempre nello stesso verso, lo ferma alla lettera E; tosto il secondo indice si ferma davanti alla stessa lettera, e, continuando così anche per le lettere G,N,O, tutta la parola è ben presto trasmessa alla seconda stazione.

Per chiamare l'attenzione della persona a cui si scrive, si dispone alla stazione ricevente un apparato di orologeria con campanello, il quale deve essere introdotto nel circuito ogniqualvolta la corrispondenza è sospesa. Un grilletto mosso dall'elettro-calamita trattiene questo meccanismo finchè non si fa passare la corrente; ma quando questa passa, il campanello avverte che sta per essere trasmesso un dispaccio. Ogni stazione poi dev'essere provveduta dei due apparati sopra descritti (fig. 538 e 539), altrimenti sarebbe impossibile il rispondere.

Abbiamo supposto che la corrente trasmessa dall'una all'altra stazione in un filo metallico ritorni allo stesso modo dalla seconda alla prima per un altro filo. Ma questo secondo filo è inutile, perchè l'esperienza insegnò che mentre il polo positivo comunica, in una stazione, coll'apparato e il negativo col suolo, basta che il conduttore esteso sino all'altra stazione sia posto ivi in comunicazione intima col suolo. In generale, si ammette che il circuito allora si trovi chiuso dalla terra, per mezzo della quale la corrente ritorni dalla seconda stazione alla prima. Questa ipotesi è criticata severamente dall'abate Moigno nel suo Trattato di telegrafia elettrica. Infatti, è difficile di comprendere come la corrente, la quale tende naturalmente a disperdersi in tutte le direzioni, giunta alla seconda stazione, scelga precisamente la direzione che la riconduce alla pila da cui è partita. Moigno ammette che la terra, comportandosi come serbatoio comune, assorbisca alle due estremità libere del filo le elettricità che la pila vi manda, e che ne risulti quindi nel filo la stessa corrente continua come se i suoi due estremi si toccassero.

700. **Telegrafo elettrico a segnali.** — In luogo dei telegrafi elettrici a lettere, della specie di quelli descritti nel paragrafo precedente, l'amministrazione delle linee telegrafiche di Francia ha adottato un telegrafo elettrico nel quale i segnali sono quelli stessi che già da

cinquant' anni erano usati nella telegrafia aerea di Chappe, e perciò ebbe ivi il nome di telegrafo elettrico *a segnali.* Questo telegrafo, il cui principio è quel medesimo del telegrafo a lettere e che fu costrutto di Breguet, è ancora composto di un manipolatore e di un ricevitore per ogni stazione, ma in ciascuno degli apparati il meccanismo è doppio, cioè è realmente formato con due manipolatori e con due ricevitori.

Nella parte anteriore dell'apparato (fig. 542) si vedono due colonne di ottone, ciascuna delle quali porta un disco metallico alla cui periferia sono praticate otto incavature e al cui centro è applicata una manovella: ognuna di queste colonne insieme coi pezzi da essa sostenuti costituisce un manipolatore. Posteriormente a questi trovasi

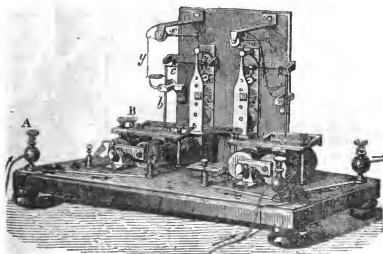



Fig. 541.

una cassa di acajù che contiene il ricevitore, le cui parti, che qui primamente descriveremo, sono rappresentate dalla figura 541. Sulla faccia anteriore della cassa è applicata una piastra bianca, e su questa piastra è segnata una fascia nera, *m*, fissa, alle estremità della quale si trovano due raggi neri mobili *x* ed *y* destinati a servire di *indicatori* per mezzo dell'angolo ch'essi fanno colla fascia fissa *m*. Il moto di questi indicatori non è continuo, ma si produce a salti di 45 in 45 gradi, di modo che ognuno

di essi può occupare otto posizioni diverse attorno al suo centro. Le otto posizioni di un indicatore, combinate colle otto posizioni dell'altro, danno dunque luogo a 64 combinazioni che potrebbero servire come altrettanti segnali. Però, siccome per ogni indicatore i segnali corrispondenti alle posizioni orizzontali dei raggi potrebbero facilmente confondersi, si fece uso di una sola di queste posizioni, e così, avendosi solo sette segnali per ciascun indicatore, risultano quarantanove combinazioni, ossia quarantanove segnali differenti. Il moto di ciascuno degli indicatori è prodotto da un meccanismo d'orologeria collocato nell'in-

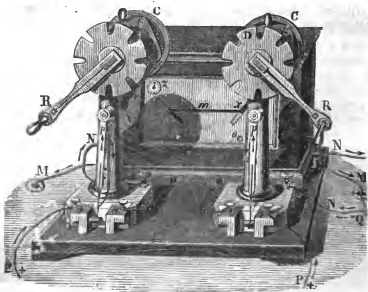



Fig. 542.

terno della cassa e da un'elettro-calamita, i cui rocchetti sono attraversati da una corrente, che proviene dalla stazione mittente.

Ciò posto, la corrente che giunge dalla stazione mittente, entrando in A, (fig. 541), passa per mezzo di un nastro di rame *a* in una elettro-calamita, che serve di motore ad uno degli indicatori mobili, per esempio ad *x*, collocato esteriormente sulla piastra bianca della cassa (fig. 542). Ogniqualvolta la corrente passa nell'elettro-calamita, questa attrae un'ancora di ferro dolce *m* (fig. 541),

che trasmette il moto ad una leva *b*, colla quale è collegata; ma appena la corrente si interrompe, cessando pure l'attrazione dell'elettro-calamita, l'áncora *m* è richiamata alla sua prima posizione da una molla a spira attaccata alla parte superiore della leva *b*. Adunque, ad ogni passaggio e ad ogni interruzione della corrente, la leva *b* fa una oscillazione. Questa leva comunica il suo movimento ad un'asta a palette *c* fissa sopra un perno orizzontale, la quale porta all'altro suo capo una forchetta *k* simile alla *c*, ma colle due palette più distanti l'una dall'altra in direzione dell'asse, e divaricate. Finalmente, al di sotto della forchetta *k* trovasi una ruota serpentina *o* a quattro denti, la quale è posta in moto da un meccanismo di orologeria, che è disegnato inferiormente alla ruota *o*.

Conosciuta questa trasmissione di movimenti, è facile vedere come possa il doppio meccanismo della figura 541 imprimere spostamenti successivi di 45 gradi agli indicatori *x* ed *y* della figura 542, i quali sono fissati rispettivamente alle ruote serpentine di ciascuno degli apparati. Infatti, quando la corrente non passa, uno dei denti della ruota *o* preme contro la paletta destra della forchetta *k* e la ruota non può girare; quando la corrente passa, la forchetta oscilla e la ruota *o* gira, ma *soltanto di un mezzo dente* o di 45 gradi, perchè il dente successivo va allora ad appoggiarsi alla seconda paletta della forchetta. Un secondo movimento della leva *b*, il quale si produce interrompendo la corrente, fa tornare la prima paletta della forchetta alla sua prima posizione; e allora da questa paletta viene fermato per una seconda volta il dente che prima era fermato dall'altra; e così di seguito per ciascuno dei denti. Per tale guisa accade la fermata successiva delle ruote serpentine e degli indicatori *x* ed *y* di 45 in 45 gradi.

Tutti questi moti avvengono nella seconda stazione, cioè in quella che riceve il dispaccio. Ci resta a far vedere come alla prima stazione, o stazione mittente, si producano, per mezzo del manipolatore, le interruzioni della corrente. Riferiamoci per ciò alla figura 542 e consideriamo uno solo dei due manipolatori, per esempio, quello che è a sinistra. La corrente di una pila, giungendo pel filo P, va ad un pezzo metallico *b* isolato dal restante apparato mediante una piastra d'avorio, ma che può venire temporaneamente in contatto, come mostra la figura, con un piccolo martello metallico fissato nella parte inferiore

della leva *p*. Allora la corrente, passando per questa leva, scende per la colonna e pel filo N, giunge alla elettro-calamita del ricevitore collocato alla seconda stazione, purchè il filo N si stenda continuo dalla prima stazione alla seconda. Le interruzioni poi della corrente si ottengono facendo oscillare la leva *p* per mezzo della manovella R e di varii pezzi posti al di sopra della colonna. Il primo di questi pezzi è un disco circolare D, fisso ed avente sul contorno otto intagli entro i quali si impegna successivamente un dente d'acciajo posto dietro alla manovella quando questa si faccia girare. I detti intagli che dividono la circonferenza del disco in 8 archi eguali di 45 gradi, servono a regolare la corsa della manovella ad intervalli di 45 gradi. Ciò posto, facendo girare la manovella, il suo moto si trasmette ad un secondo disco C sul quale è applicato in rilievo un eccentrico S. Sopra questo eccentrico si appoggia un bracciuolo *v*, che serve di guida ad una leva mobile *r*. Questa, oscillando alternativamente a destra ed a sinistra, per effetto della pressione dell'eccentrico sul bracciuolo, trasmette il suo moto all'asse A, alla leva *p* ed al piccolo martello oscillante. Perciò, attesa la forma dell'eccentrico, batte il piccolo martello in ogni rotazione della manovella quattro volte il pezzo *b* ed altrettante il pezzo *a*; per conseguenza la corrente passa quattro volte ed altrettante volte è interrotta nella elettro-calamita della stazione ricevente. Dunque la leva *b* (fig. 541) fa otto oscillazioni, ed il corrispondente indice *x* (fig. 542) otto movimenti, ciascuno di 45 gradi.

Il ricevitore poi della stazione mittente si muove nella stessa guisa quando la corrente venga dall'altra stazione. Ma in tal caso il piccolo martello oscillante deve toccare il pezzo *a*, e la corrente, venendo pel filo N, passa nella colonna, indi nella leva *p*, nel pezzo *a*, e, per un filo di rame, va alla elettro-calamita che trovasi nella cassa.

Due chiavi *oo* servono a caricare i meccanismi di orologeria, e due dischi *z*, dei quali uno solo è visibile nella figura, servono a far girare una carrucola *x* (fig. 541) per regolare, mediante un filo, la molla a spira che opera sulla leva *b*.

701. **Telegrafo elettrico scrivente di Morse.** — I telegrafi a quadrante ed a segnali non lasciano alcuna traccia dei dispacci trasmessi, ed ove siasi commesso qualche errore nel copiare i segnali, non v'è modo di rettificarlo. Questi inconvenienti non si incontrano nei *te-*

legrafi scriventi, i quali tracciano da sè soli i segni sopra una lista di carta di mano in mano che vengono trasmessi.

Esistono parecchie specie di questi telegrafi, tra i quali preferiamo descrivere quello di Morse adottato dapprima nell'America del Nord, successivamente in tutta Europa. In questo telegrafo si presentano a studiare tre apparati distinti: il *ricevitore*, il *manipolatore* e il *relais*. Le figure 543, 544 e 545 rappresentano questi apparati giusta modelli presi nelle officine di Mouilleron e Gaussin.

Ricevitore. — Consideriamo dapprima il ricevitore solo (fig. 543), omettendo per ora i pezzi accessorii G e T col-

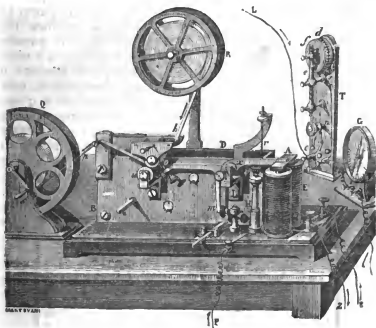



Fig. 543.

locati sulla destra della figura. La corrente che giunge al ricevitore, entra, pel filo C, in una elettro-calamita E; questa, ogni volta che la corrente passa, attrae un'àncora A fissata all'estremità di una leva orizzontale mobile attorno al punto x. All'estremità opposta della leva trovasi una punta d'acciajo o, che serve a scrivere i segnali. A questo effetto, una lunga lista di carta robusta

avvolta sopra un tamburo R, s'impegna tra due cilindri di ottone a superficie scabra e giranti in versi contrarii come quelli d'un laminatojo. Così, venendo trascinata nella direzione delle frecce, la lista di carta va ad avvolgersi sopra un secondo tamburo, Q, che si fa girare colla mano per mezzo di una manovella. I cilindri tra i quali passa la carta sono mossi da un congegno d'orologeria situato nella cassa BD.

Ciò posto, la carta essendo trascinata con moto continuo, ogni volta che l'elettro-calamita funziona, la punta *o* va ad imprimere la carta, e, senza forarla, vi produce una impronta la cui forma varia secondo il tempo pel quale la punta è rimasta in contatto colla carta. Se fu stabilito un solo contatto istantaneo, si produce solo un punto (.); ma se la corrente ha una certa durata, si produce una linea più o meno lunga (—). Adunque, facendo passare, alla stazione di partenza, la corrente per tempi più o meno lunghi, si possono produrre ad arbitrio, alla stazione di arrivo, una linea o un punto, e, per conseguenza, delle combinazioni di linee e di punti. Per dare poi a queste combinazioni un preciso significato, si rappresentano le lettere dell'alfabeto coi segnali seguenti, i quali danno mezzo di scrivere parole e frasi, lasciando uno spazio in bianco tra le varie lettere.

ALFABETO DI MORSE.

. —	a	. .	i	. —	r
. — . —	ä	. — — —	j	. . .	s
— . . .	b	— . —	k	—	t
— . — .	c	. — . .	l	. . —	u
— . .	d	— —	m	. — —	ü
.	e	— .	n	. . . —	v
. . — . .	é	— — —	o	. — —	w
. . — .	f	— . — — .	ö	— . . —	x
— — .	g	. — — .	p	— . — —	y
. . . .	h	— — . —	q	— — . .	z

Manipolatore. — Esso si compone di una tavoletta di acajù, che serve di sostegno ad una leva metallica *ab* (fig. 515) mobile sopra un asse orizzontale piantato verso il suo mezzo. L'estremità *a* di questa leva tende sempre ad elevarsi per effetto di una molla collocata al di sotto. Appoggiando il dito sul tasto B, la leva si abbassa e viene

ad urtare il bottone x. Finalmente, intorno alla tavoletta si trovano tre piuoli, uno dei quali è in comunicazione col filo P, che parte dal polo positivo della pila, l'altro col filo L della linea, il terzo col filo A che va al ricevitore.

Conosciuti questi particolari, ci restano a considerare due casi: 1.° il manipolatore è disposto in modo di ricevere un dispaccio da altra stazione; allora l'estremità b è abbassata come nella figura 544, di modo che la corrente, la quale giunge dal filo della linea L ed ascende nel pezzo metallico m, scende di nuovo nel filo A, che la traduce al ricevitore della stazione ove trovasi l'apparato. 2.° Trat-

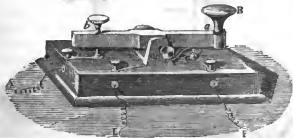



Fig. 544.

tasi di trasmettere un dispaccio: in questo caso si preme il tasto B in modo che la leva venga a contatto col bottone x. La corrente della pila della stazione, giungendo pel filo P e ascendendo nella leva, ne scende pel pezzo m e va al filo della linea L, il quale la conduce alla stazione a cui è diretto il dispaccio. Ora, a norma della durata della pressione sul tasto B, nel ricevitore a cui va la corrente si produce un punto od una linea. Se si urta solo istantaneamente il bottone x, producesi un punto; ma se il contatto si prolunga per un intervallo di tempo piccolissimo, si produce una linea.

Relais. — Descrivendo il ricevitore, abbiamo supposto che la corrente della linea, giungendo pel filo C (fig. 543), entrasse direttamente nell'elettro-calamita e, movendo l'armatura, imprimesse il dispaccio. Ora, quando la corrente abbia percorso soli dieci chilometri, essa ha già perduto tanto della sua intensità, che non può comunicare all'elettro-calamita una forza sufficiente per imprimere il dispaccio. Per ciò bisogna in tal caso adoperare un *relais*, cioè una elettro-calamita ausiliaria, la quale è percorsa dalla corrente della linea, ma serve ad introdurre nel ricevitore

la corrente di una *pila locale* di 4 o 5 coppie collocata nella stazione e destinata soltanto ad imprimere i segnali trasmessi dal filo della linea. Per ciò, la corrente della linea, venendo pel piuolo L (fig. 545), entra nella elettro-calamita E, e di là va a diffondersi nel suolo pel piuolo T. Ora, ogni volta che la corrente della linea passa pel relais, la elettro-calamita attrae un'armatura A fissata alla parte inferiore di una leva verticale *p* oscillante intorno ad un asse orizzontale.

Ad ogni oscillazione, la leva *p* urta alla sua parte su-

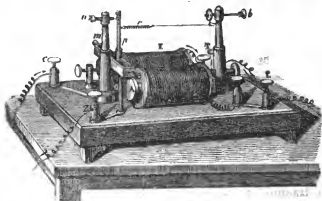



Fig. 545.

periore contro un bottone *n* ed allora la corrente della pila locale, che giunge pel piuolo *c*, ascende nella colonna *m*, passa nella leva *p*, discende per l'asta *o* che la conduce al piuolo Z; poi passa alla elettro-calamita del ricevitore, d'onde esce pel filo Z (fig. 543) per ritornare alla stessa pila locale da cui è partita. Quando poi la corrente del filo della linea si interrompe, l'elettro-calamita del relais non essendo più attratta, avviene che la leva *p* trascinata da una molla a spira *r* si allontana dal bottone *n*, come mostra la figura, e la corrente della pila locale non passa più. Si vede adunque che il relais trasmette al ricevitore esattamente le stesse fasi di passaggio e di intermittenza che sono prodotte dal manipolatore nella stazione che trasmette il dispaccio.

Adoperando per corrente della linea quella di una pila di 25 coppie di Daniell, la corrente, alla distanza di 160 chilometri dal suo punto di partenza, ha ancora una intensità sufficiente per far operare il relais. Per una di-

stanza maggiore, bisogna aggiungervi una nuova corrente, come si vedrà nel paragrafo intitolato *cambiamento della corrente.*

Andamento finale della corrente nei tre apparati. — Conosciute le tre parti principali del telegrafo di Morse, ecco l'andamento effettivo della corrente nel complesso dei tre apparati.

La corrente della linea, giungendo pel filo L (fig. 543), passa dapprima sul pezzo T destinato a servire di parafulmine nel caso in cui, per influenza dell'elettricità atmosferica durante un temporale, i fili conduttori si caricassero di una quantità di elettricità sufficiente per dare scintille pericolose. Il pezzo che forma il parafulmine è composto di due dischi di rame *d* ed *f* muniti di denti sulle facce che si trovano di fronte senza toccarsi. Il disco *d* comunica col suolo per mezzo di una lastra metallica collocata dietro la tavoletta che porta il parafulmine, mentre il disco *f* è nel circuito. Difatti, giungendo la corrente pel filo della linea L, entra nel parafulmine per il piuolo fissato alla parte interna della tavoletta, a sinistra; ascende in seguito in un commutatore *n*, che la trasmette ad un bottone *c*, d'onde va al disco *f* per mezzo di una lastra metallica situata dietro la tavoletta. Ivi l'elettricità operando per influenza sul disco *d*, sfugge per le punte senza pericolo per le persone che si trovano vicine all'apparato. Inoltre, dal disco *f* la corrente passa in un corto filo finissimo di ferro isolato e chiuso nel tubo *e*. Ora, venendo fuso questo filo dalla corrente quando questa è soverchiamente intensa, l'elettricità non entra più nell'apparato, e così anche per tal guisa è tolto il pericolo.

Finalmente, dal piede del sostegno *s* la corrente va ad un piuolo a destra, il quale la trasmette ad un piccolo galvanometro G che, per mezzo della deviazione dell'ago indica il passaggio della corrente nell'apparato. Dal galvanometro la corrrente passa al manipolatore (fig. 544) dove entra per L ed esce da A per recarsi al relais (figura 545). Entrando ivi in L fa funzionare l'elettro-calamita e stabilisce la comunicazione necessaria pel passaggio della corrente della pila locale, come si è già detto parlando del relais.

Cambiamento della corrente. — Per compiere la descrizione dell'apparato di Morse, rimane ad osservare che la corrente della linea, la quale giunge in L (fig. 543) e che, in generale, dopo un filo lungo dieci chilometri, non ha

più intensità sufficiente per imprimere il dispaccio, non può nemmeno, per conseguenza, avere intensità sufficiente per continuare a propagarsi verso una nuova stazione più lontana. Perciò importa di assumere in ogni stazione telegrafica una nuova corrente, quella cioè della *pila di stazione* composta di 20 o 30 coppie di Daniell, e che non è già la *pila locale*.

Questa nuova corrente della pila di stazione entra in P (fig. 543), arriva ad un piuolo, che la conduce ad una colonna H, ed ivi non continua oltre se non quando l'armatura A si abassa. Infatti, un piccolo contatto applicato sotto la leva viene allora a toccare il bottone *v*, e la corrente va dalla colonna H alla massa metallica BD, d'onde per un piuolo ed un filo, che non si trovano rappresentati nella figura, giunge finalmente al filo della linea, il quale la trasmette alla stazione seguente, e così di stazione in stazione sino al luogo a cui è destinato il dispaccio.

702. **Modificazione introdotta nel telegrafo di Morse.** — Nel telegrafo di Morse quale ora venne

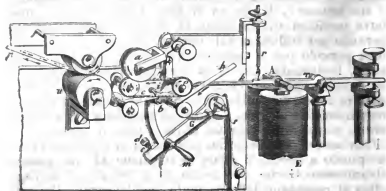



Fig. 546.

descritto, i punti e le linee segnate sulla carta dalla punta metallica sono poco visibili; inoltre la loro impressione sulla carta richiede una corrente alquanto intensa, la quale può ottenersi soltanto col mezzo di relais avvicinati. Per ovviare a questi inconvenienti parecchi costruttori hanno modificato il telegrafo di Morse in maniera che fornisse i segni coll'inchiostro. Questi segni non solamente sono più visibili, ma possono essere ottenuti con minore dispendio di forza.

La figura 546 rappresenta l'apparato costrutto a questo scopo da Vinay e Gaussin. La elettro-calamita, il meccanismo di orologieria, la lista di carta e i cilindri che la fanno avanzare, sono come nel telegrafo di Morse; soltanto alla punta che incide è sostituita una catena continua *c* d'acciajo, la quale si copre d'inchiostro sul suo lembo esterno pel contatto di un rotolo *a*, il cui contorno è coperto di una stoffa di flanella mantenuta inzuppata d'un inchiostro grasso per strofinamento contro un pennello che ne è bagnato. La catena continua si avvolge su due puleggie *o*, *o'*, la seconda delle quali è messa in moto rotatorio dal movimento d'orologeria. Al di sotto della catena, a piccolissima distanza, trovasi la lista di carta *ph* sulla quale viene scritto il dispaccio. Finchè la corrente non passa nella elettro-calamita, la carta non tocca la catena, ma appena che passi la corrente, l'armatura A è attratta, la leva K si abbassa e un dado *i*, fissato alle sue estremità, va ad appoggiarsi sulla catena e la mette in contatto colla carta. Ora, la catena, deponendo allora l'inchiostro tolto dal rotolo *a* segna sulla carta una linea o un punto secondo il tempo più o meno lungo durante il quale l'armatura A resta attratta dalla elettro-calamita, cioè secondo la durata della corrente. I segni così ottenuti sono perfettamente distinti.

Il pezzo G posto dinanzi al fianco dell'apparato è mobile attorno ad un asse *n* ed è tenuto nella posizione indicata dalla figura, per mezzo di una molla *s*. A questo pezzo G è fissato un piccolo rotolo *b*, che sostiene la lista di carta presso alla catena. La distanza tra la carta e la catena viene regolata volgendo più o meno una vite *e* che si appoggia ad un bottone fisso *d*. Per mettere in posto la lista di carta, si abbassa il pezzo G per mezzo di una impugnatura *m*.

Il telegrafo di Morse così modificato richiede pochissima forza e può trasmettere i dispacci a 200 o 250 chilometri di distanza senza relais.

703. **Telegrafo stampante di Hughes.** — Hughes, professore di fisica a Nuova York, ha inventato di recente un telegrafo stampante che dà mirabili risultati per la speditezza e fedeltà di trasmissione dei dispacci. Questo meccanismo, complicato nei suoi particolari, è fondato sopra due principii semplici ed ingegnosi che finora non erano stati applicati ai telegrafi elettrici. Il primo è di non adoperare più per forza motrice quella della corrente, ma

bensì un peso di circa 50 chilogrammi atto a muovere in modo continuo tutto l'apparato, e che viene rialzato con un pedale quando è giunto all'estremo inferiore della sua corsa. Così la corrente non è impiegata ad altro che a far impigliare e liberare una ruota il cui albero è munito di eccentrico, il quale in un opportuno momento

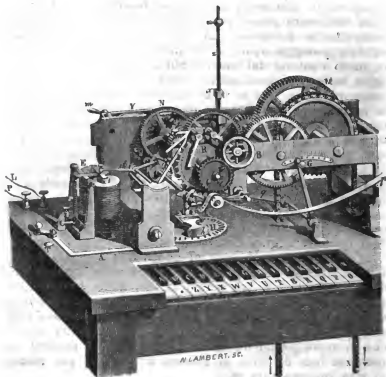



Fig. 547 ($a = 45$).

solleva la lista di carta sulla quale si vuole stampare una qualche lettera. Il secondo principio è che la elettro-calamita opera qui in verso contrario che negli altri telegrafi elettrici, cioè in luogo di tenere l'armatura in contatto quando la corrente passa, la tiene invece quando la corrente non passa. Per ottenere ciò, il ferro dolce della elettro-calamita è in contatto, alla sua parte inferiore, con una piccola calamita a ferro di cavallo; dalla quale magnetizzato, tiene la sua áncora; ma la corrente che per-

corre il filo della elettro-calamita essendo diretta in modo di magnetizzarla oppostamente alla polarità che già possiede, la più debole corrente che passi nel filo toglie la polarità all'elettro-calamita. Allora questa lascia libera la sua armatura, la quale è sospinta da una molla, ed allora essa va ad imbrigliare la ruota come si vedrà fra poco.

Fig. 548.

Davanti alla tavoletta che porta l'apparato trovasi una tastiera con 28 tasti, di cui 26 portano le lettere dell'alfabeto, un' altro un punto e l'ultimo è bianco. Al di là della tastiera è situato un disco di ottone H che sostiene nel suo centro un asse verticale J (fig. 548), il quale ruota con una velocità di due giri per secondo. e conduce seco in giro un carretto *h* che vi è fissato sopra, e del quale diremo or ora l'ufficio.

Dietro il disco H trovasi un sostegno che porta una serie di ruote mosse da un peso di 50 chilogrammi, il quale opera sopra una catena continua che trasmette il movimento alla ruota M, *e*, per mezzo di una serie di rocchetti e di ruote, alla ruota N. All'asse di quest'ultima è fissato un toro di ottone Y che opera come volante per regolare il movimento. Questo toro serve anche a fermare l'apparato coll'intermedio d'un freno che viene mosso dall'impugnatura *m*; quando questa venga premuta, tutto il sistema si ferma quasi istantaneamente. La ruota N sopra indicata ingrana a sinistra, alquanto al di sotto, in un piccolo rocchetto che dà il movimento alla ruota *g*, agli eccentrici *o* ed *i* ed al rotolo *c*, il quale serve a sollevare la lista di carta (fig. 550). Insomma, l'asse mosso da questo piccolo rocchetto è quello che sostiene i principali organi dell'apparato.

Sulla parte anteriore del sostegno trovasi un rotolo B, che è il distributore d'inchiostro. Perciò esso è cinto da una grossa stoffa di lana che si tiene sempre inzuppata di inchiostro grasso, come nel telegrafo di Morse modificato (702). In direzione tangenziale a questo rotolo si muove

una ruota *a* munita alla sua periferia di 27 denti, che portano in rilievo le 26 lettere dell'alfabeto e un punto. Un dente manca sulla periferia, per poter ottenere uno spazio bianco; la parte corrispondente è nella figura 547 in contatto col rotolo B.

Sulla faccia posteriore del sostegno, in *z*, trovasi una lamina d'acciajo elastica, assai flessibile alla quale è attaccata una molla a spira orizzontale, terminata da un'appendice che viene ad appoggiarsi contro una ruota fissata all'albero della ruota S, e figurata in nero dietro di questa. I denti di questa ruota, urtando l'appendice della molla a spira, mettono in vibrazione la lamina *z*, la quale, secondo che oscilla più o meno velocemente, opera per accelerare o ritardare la ruota situata dietro la N e quindi

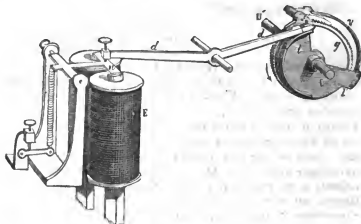



Fig. 549.

tutto il sistema. Ora, accorciando od allungando la lamina *z*, si può ad arbitrio accelerare o ritardare le sue vibrazioni, come si farebbe di un pendolo. A questo intento, un peso *x* può scorrere lungo la lamina mediante un'asta parallela alla lamina stessa, fissa per un capo al peso *x* e per l'altro ad una leva *q* a cui si trasmette il movimento con una manovella G. Ruotando a destra la manovella, la leva *q* viene sollevata e con essa il peso *x*; allora le vibrazioni della lamina si rallentano: ruotando invece la manovella a sinistra, si ottiene l'effetto contrario.

Sul lembo della tavoletta trovansi due colonnette l'una

delle quali porta il filo P che viene della pila locale e va alla tastiera, e l'altra il filo L della linea che va all'elettro-calamita. Sul lato sinistro della stessa tavoletta sonvi due bottoni metallici V e T, il primo dei quali è destinato a ricevere il dispaccio, e l'altro a trasmetterlo. A questo fine serve un piccolo contatto metallico che termina alla lamina A, il quale è mobile sopra una cerniera e munito di una impugnatura d'avorio. Prendendo questa colla mano, si colloca il contatto in comunicazione col bottone V ovvero T secondo che si vuole trasmettere un dispaccio o riceverlo. Finalmente, in E trovasi l'elettro-calamita, in *n* la sua áncora, in *r* una molla a spira che tende continuamente a sollevare l'áncora *n*. Su quest' ultima appoggiasi una leva *d* la quale viene sollevata insieme coll'áncora. Questa leva *d*, prolungata opera sulla ruota *g* e pro-

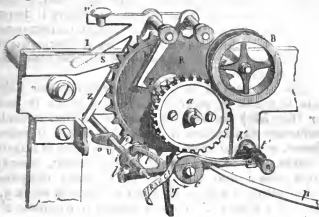



Fig. 550.

duce l'impigliamento, come si vedrà nella figura 549. Conoscendosi ora l'apparato nel suo complesso, veniamo ai particolari, ed in primo luogo studiamo quello rappresentato dalla figura 548.

Il disco H ha sul suo contorno 28 fori, in ciascuno dei quali passa un dente verticale d'acciajo O',O'',O'''.... mosso da una leva che riceve il suo movimento da uno dei tasti. Così ad ogni foro del disco H corrisponde una lettera della tastiera, e se si preme, per esempio, sul tasto F, immediatamente il dente che vi corrisponde si innalza di circa due millimetri al di sopra del disco H. Ora, si è già ve-

duto che l'albero J e il carretto *h* fissato al medesimo, girano colla velocità di due giri per secondo. Segue da ciò che un dente, per esempio O″, viene sollevato, ed è incontrato da una piastra *a'a″*, isolata dal restante dell'apparato, per mezzo di piastre d'avorio, ma comunicante coll'albero J per contatto metallico. La corrente, la quale dalla tastiera è giunta al dente O″, passa adunque attualmente nell'albero J e indi in tutto il sostegno, e recasi al bottone F (fig. 547); perciò se è stabilito il contatto per la trasmissione, la corrente passa nell'elettro-calamita E, e, finalmente, nel filo L della linea, il quale la conduce all'elettro-calamita della stazione a cui è destinato il dispaccio, e dove essa fa stampare la lettera stessa del tasto che si è abbassato.

Importa di osservare che tanto nella partenza quanto nell'arrivo, la corrente passa sempre nell'elettro-calamita della stazione mittente e di quella che riceve il dispaccio. Da ciò risulta che il dispaccio si stampa contemporaneamente nelle due stazioni, onde si ha il mezzo di verificarlo costantemente e di mantenere un perfetto accordo tra i due apparati.

Si è già veduto che la corrente, passando per l'elettro-calamita, le toglie la polarità magnetica e che la molla a spira *r* (fig. 549) fa liberare l'áncora *n*. Ora, essendo allora sollevato dall'áncora il braccio di leva *d*, il braccio *d'* si abbassa, e questo movimento è quello che fa imprimere una lettera. Per comprendere questo effetto, osserviamo dapprima che i due alberi U ed U' sono indipendenti l'uno dall'altro; l'albero U, a cui è fissata la ruota *g*, gira sempre, ma l'albero U' a cui è fissato il rocchetto *c'* non può girare se non quando questo rocchetto imbocca nei denti della ruota *g*. Ora, finchè la leva *d'* è sollevata, sol leva essa stessa una piccola appendice *c″* e con essa il pezzo *c'*, dunque l'albero U' non è trascinato, e l'albero U gira da solo. Ma tosto che il braccio *d'* si abbassa, il *c'*, il quale non è più sostenuto, viene rovesciato da una molla *v* che lo preme dall'alto in basso, imbocca nella ruota *g*, e, trascinato da essa, trasmette il suo moto al settore *ll'* ed all'albero U'. Ora quest'albero porta gli eccentrici *o,i* (fig. 547 e 550) e solleva la lista di carta durante la impressione. Si vede quindi quale ufficio importante abbia nel meccanismo la parte dell'apparato che ora abbiamo descritta. Non lasciamo questo argomento senza far conoscere l'ufficio della lamina fissa *u*, che opera come eccen-

trico sulla leva *d'*. Mentre la ruota *g* gira nel verso indicato dalla freccia, l'eccentrico *u* solleva il braccio *d'* e con esso l'appendice *e''* e il rocchetto *c'*. Così, dopo un intiero giro del settore *ll'*, esso è di nuovo liberato, si ferma, e con esso fermasi pure l'albero U', il quale, per conseguenza, non compie mai più d'un giro. È ancora da osservare che l'eccentrico *u* non serve soltanto a liberare il rocchetto *c'*, ma che, sollevando il braccio *d'*, esso abbassa *d*. Ora, questo braccio, appoggiandosi sull'áncora *n* la rimette in contatto colla elettro-calamita fino a che, rinnovandosi il passaggio della corrente, si riproduce la liberazione.

Ci resta a parlare, a compimento, del meccanismo che serve a stampare, il quale, perchè complicato, non può qui venire descritto in tutti i suoi particolari. La ruota stampante *a*, che porta sul suo contorno le 26 lettere e un punto, ed è continuamente bagnata d'inchiostro dal rotolo B, gira continuamente, sia ch' essa stampi o no. La cosa più importante è che questa ruota sia sempre d'accordo col carretto *h* (fig. 548) cioè che all'istante in cui questo è trattenuto da uno dei tasti, per esempio F, la stessa lettera trovisi esattamente all'estremo inferiore della ruota stampante, perchè, appunto in questo momento, la carta si solleva e la impressione si compie. Infatti, allora l'albero U', impigliandosi con U (fig. 549), gli eccentrici e i denti posti sopra U' cominciano ad operare. Un dente acuto, posto alla estremità anteriore di U, solleva la leva H'. Ora, questa leva porta il rotolo *c* sul quale trovasi la lista di carta, tenutavi da una doppia lamina elastica. Venendo rapidamente sollevato il rotolo, la carta urta fortemente sulla lettera F, che si è supposta in basso nella ruota *a*. Tosto l'eccentrico *i* agisce sull'estremità della leva *bb'* a cui è fissata una lamina *y*. Questa, alla sua parte superiore, porta un meccanismo che fa muovere una ruota fissata all'asse del rotolo *y*. Ne segue che *c*, abbassandosi, fa girare il rotolo ed avanzare la lista di carta, appunto di una quantità eguale all'intervallo tra due lettere, di modo che la carta trovasi pronta a ricevere l'impressione di un'altra lettera. Se si abbassa, per esempio, il tasto R sulla tastiera, il carretto *h* (fig. 548) viene impigliato dal dente sollevato, all'istante preciso in cui la lettera R trovasi al basso della ruota stampante, e, venendo la carta ad urtarla nello stesso momento, si stampa la lettera R. Così dicasi delle seguenti lettere.

Il dente *e* fissato sull'asse U ha un importante ufficio, quello cioè di servire a regolare il movimento tra la stazione mittente e l'altra. Per ciò, questo dente ingrana nei denti della ruota R, e, quando non vi è concordanza, li preme e oppone loro resistenza in modo di rettificare la posizione di questa ruota e simultaneamente della ruota *a*, col farle avanzare o retrocedere, perchè queste due ruote non sono collegate l'una all'altra in modo invariabile.

Quando si preme il bottone *n'*, esso si abbassa insieme coi bracci di leva J, Z, K; quest'ultimo porta un dente che s'impegna in una prominenza F collegata colle ruote R ed *a*. Allora lo spazio *bianco* della ruota *a*, cioè l'intervallo senza lettera, si trova precisamente al basso. Così si ha il mezzo di *collocare uno spazio bianco*, il che si fa sempre quando si termina la parola e quando si scorge che alle due stazioni gli apparati non concordano. Il pezzo J, abbassandosi, allontana una lamina S, la quale, per mezzo di una ruota non visibile nella figura, fa libere le ruote R ed *a* le quali cessano tosto di girare, benchè continui il moto delle altre ruote M, N (fig. 547). Ma, sopraggiungendo la corrente e l'albero U' facendo un giro, l'eccentrico *o* solleva il braccio Z e con esso i pezzi J, K; allora le ruote R, *a* ricominciano a girare.

Si regola il sincronismo tra le due stazioni nel modo seguente. Dopo aver data all'apparato una tale velocità che il carretto *h* (fig. 548) faccia approssimativamente due giri per secondo, uno dei corrispondenti trasmette una lettera qualunque e la ripete ad ogni giro del carro. Se la medesima lettera si riproduce costantemente all'altra stazione, il sincronismo è sufficiente; che se essa non si riproduce, ma i caratteri stampati si avanzino da A a B, da B a C, ciò indica che alla stazione mittente il moto è più lento che all'altra. Allora in quest'ultima si rallenta il moto, sollevando gradatamente il corsojo x (fig. 547).

704. **Telegrafo elettro-chimico di Bain.** — I telegrafi *elettro-chimici* sono apparati che scrivono i dispacci con segni colorati sopra una carta inzuppata di cianuro giallo di ferro e di potassio, il quale viene decomposto dalla corrente elettrica ogni qualvolta essa passa attraverso alla carta.

Il primo telegrafo di questo genere è dovuto allo scozzese Bain. Le lettere sono rappresentate in quel telegrafo dagli stessi segni che nel telegrafo di Morse, cioè da com-

binazioni di linee e di punti; ma il dispaccio deve essere preventivamente *composto* sopra una lunga lista di carta comune. Perciò vengono fatti in quest'ultima successivamente dei piccoli fori, alcuni rotondi, che rappresentano i punti di Morse, altri allungati, che corrispondono alle linee: di poi la lista di carta viene interposta tra un cilindro metallico ed una lamina elastica, pure di metallo, introdotti ambedue nel circuito continuato da una stazione all'altra. Ora, il cilindro ruotando trascina seco la lista di carta le cui parti vengono successivamente a passare tra il cilindro e la lamina. Se la carta non fosse forata, essa impedirebbe sempre il passaggio della corrente; ma essendovi praticati i fori, al passaggio di ognuno di questi la lamina tocca il cilindro e si stabilisce la corrente, la quale segna all'altra stazione, in azzurro, sopra una carta inzuppata di cianuro giallo, la stessa serie di punti e linee che si è già disposta sulla lista forata.

Pouget-Maisonneuve, costruì un telegrafo nel quale il dispaccio viene scritto alla stazione ricevente, a cui viene trasmesso direttamente col manipolare di Morse (fig. 544).

705. **Orologi elettrici.** — Gli orologi elettrici sono movimenti di orologeria di cui diviene motore e regolatore insieme una elettro-calamita per mezzo di una corrente elettrica successivamente interrotta e stabilita. La fig. 551 rappresenta la mostra di uno di questi orologi, e la fig. 552 il meccanismo che fa avanzare gli indici.

Una elettro-calamita B attrae un pezzo di ferro dolce P mobile sopra un perno *a*. Il pezzo P trasmette il suo moto alternativo ed una leva *s*, la quale, con un dente *n*, fa girare la ruota A. Questo, per mezzo di un rocchetto D, fa girare la ruota C, che, alla sua volta, per una serie di ruote e rocchetti, fa muovere gli indici. L'indice più corto segna le ore ed il più lungo i minuti. Però, siccome quest'ultimo non gira con moto continuo ma a salti di secondo in secondo, ne segue che può servire anche a segnare i secondi.

È evidente che la regolarità del moto degli indici dipende dalla regolarità delle oscillazioni del pezzo P. Ora, le intermittenze della corrente, che passa nella elettro-calamita, sono regolate da un orologio campione il cui pendolo batte i minuti secondi. Ad ogni oscillazione del pendolo la corrente passa una volta ed una volta è interrotta; epperò il pezzo P batte esso pure i secondi.

Ciò posto, ecco l'uso di questi orologi. Supponiamo che

tutte le stazioni di una linea telegrafica abbiano un orologio simile al descritto, e che ad una delle stazioni estreme trovisi l'orologio regolatore, dal quale si protende il filo a tutti gli altri. Facendo passare in questo filo la corrente nel modo anzidetto, tutti questi orologi si accorderanno esattamente nelle loro indicazioni, senza differenza neppure di un minuto secondo, perchè, siccome la elet-

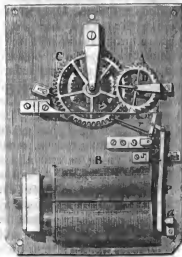



Fig 551. Fig. 552.

tricità percorre 43 mila leghe in un secondo, il tempo che essa impiega per giungere dalla prima all'ultima stazione è affatto inapprezzabile.

706. **Motrici elettro-magnetiche**. — Si fecero numerosi tentativi per giovarsi della forza attrattiva delle elettro-calamite come forza motrice per le macchine. La figura 553 rappresenta un apparato costruito a questo intento da Froment. Esso è composto di quattro elettro-calamite energiche A,B,C,D, fissate sopra un sostegno di ghisa X. Tra queste elettro-calamite trovasi un sistema di due ruote di ghisa mobili sopra un perno orizzontale e che portano alla loro periferia otto armature di ferro dolce M.

La corrente della pila, giunta per K, va nel filo E, indi nell'arco metallico O, pel quale passa successivamente in ciascuna delle elettro-calamite, in modo che le attrazioni

sulle armature M tendano tutte a produrre effetti cospiranti. Ora, questa condizione non si può ottenere se non in quanto la corrente venga interrotta in ciascuna elettro-calamita precisamente allorchè un'armatura giunge davanti agli assi dei rocchetti. Per ottenere questa interruzione, l'arco

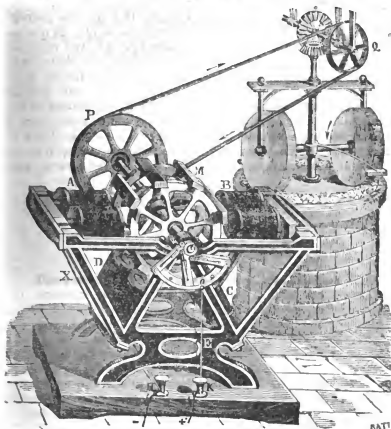



Fig. 553.

O porta tre bracci *e*, ciascuno dei quali è terminato da una lamina d'acciajo alla quale è fissata una piccola carrucola. Due di queste carrucole stabiliscono le comunicazioni rispettivamente con una delle elettro-calamite, e la terza con due di esse. Una ruota centrale *a* è munita di prominenze sulle quali s'appoggiano alternativamente le carrucole. Ogni qual volta una delle carrucole s'appoggia ad una prominenza, passa la corrente della corrispondente e-

lettro-calamita, e cessa di passare quando non v'è più contatto. Uscita dalle elettro-calamite, la corrente ritorna al polo negativo della pila pel filo H.

Stante questa disposizione, le armature M sono successivamente attratte dalle quattro elettro-calamite, e il sistema di ruote che le sostiene concepisce un rapido moto rotatorio, il quale, per mezzo della ruota P e di una correggia continua, è trasmesso ad una carrucola Q e da questa ad un congegno qualunque, per esempio ad una macina.

Froment ha nelle sue officine una macchina elettro-magnetica della forza di un cavallo-vapore. Ma finora queste macchine non furono adoperate nell'industria, perchè la spesa degli acidi e dello zinco che esse consumano supera di molto quella del combustibile nelle macchine a vapore di forza eguale. L'applicazione delle macchine elettro-magnetiche dipende adunque principalmente, fino ad ora, dai perfezionamenti che restano a desiderarsi alla pila (*).

CAPITOLO VI.

FENOMENI DI INDUZIONE.

707. **Induzioni per mezzo delle correnti.** — Abbiamo già veduto (594) che, in generale, chiamasi *induzione* l'azione che i corpi elettrizzati esercitano a distanza sui corpi allo stato neutro; ma si usa questa denominazione specialmente quando si tratti di effetti prodotti dalla elettricità dinamica. Faraday, che, pel primo, nel 1832, fece conoscere questa classe di fenomeni, denominò *correnti di induzione* o *correnti indotte* le correnti istantanee che si sviluppano nei conduttori metallici sotto l'influenza di correnti voltiane o di potenti calamite, ovvero dell'azione magnetica terrestre.

L'induzione prodotta dalle correnti si verifica per mezzo di un *rocchetto* a due fili. Si chiama così un cilindro di cartone o di legno sul quale si avvolgono ad elice dap-

(*) Esiste in Milano un ingegnoso apparato di questo genere immaginato dal prof. cav. *Luigi Magrini*, che costituisce una locomotiva elettro-magnetica, di cui si può vedere la descrizione negli atti della già Accademia Fisio-Medico-Statistica dell'anno 1856.

(*Nota dei Trad.*)

prima un filo di rame grosso, poi uno sottile, coperti ambedue di seta (fig. 554). Posti i due capi *a* e *b* del filo sottile in comunicazione colle estremità del filo di un galvanometro, si fa passare una corrente voltiana nel grosso filo *cd*, che chiamasi il filo *induttore*. Allora si osservano i fenomeni seguenti:

1.° All'istante in cui il filo *cd* incomincia ad essere attraversato da una corrente, per esempio da *c* verso *d*, la deviazione dell'ago del galvanometro indica nel filo *ab* una corrente *inversa* della prima, cioè diretta in verso contrario, la quale non ha che una durata brevissima, perchè l'ago torna tosto allo zero e vi rimane per tutto quel tempo che dura il passaggio della corrente nel filo induttore *cd*.

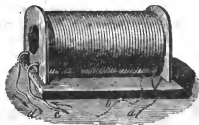



Fig. 554.

2.° Al momento in cui, interrotte le comunicazioni, il filo *cd* cessa di essere attraversato dalla corrente, si produce di nuovo nel filo *ab* una corrente indotta, istantanea come la prima, ma *diretta*, cioè nel medesimo verso della corrente induttrice.

Questi fenomeni possono essere paragonati a quelli che furono studiati nella elettricità statica sotto il nome di elettrizzazione per influenza (594): infatti, si possono considerare come risultanti dalla decomposizione, di molecola, in molecola, della elettricità naturale del filo indotto per influenza della elettricità che si propaga nel filo induttore. Questa teoria dei fenomeni di induzione fu adottata da De la Rive nel suo *Trattato di elettricità*.

708. **Apparato di induzione di Matteucci.** — La figura 555 rappresenta un apparato, dovuto a Matteucci e costrutto da Ruhmkorff a Parigi, assai opportuno per mostrare le correnti di induzione prodotte o dalla scarica di una bottiglia di Leyda o dal passaggio di una corrente voltiana.

Questo apparato è composto di due dischi di vetro del diametro di circa 33 centimetri, fissati verticalmente in due cornici di ottone A e B, sostenute da piedi mobili e che possono avvicinarsi l'uno all'altro ad arbitrio. Sulla faccia anteriore del disco A è avvolto a spira un filo di rame C del diametro di un millimetro e lungo da 25 a 30 metri. I due capi di questo filo attraversano il disco, l'uno al centro, l'altro alla parte superiore, e terminano a due piccoli morsetti simili a quelli rappresentati in *m*,*n* sul disco B. In questi morsetti si introducono due fili di rame, *c* e *d*, coperti di seta, che sono destinati a ricevere la corrente induttrice.

Su quella faccia del piatto B, che trovasi dirimpetto al disco A, è pure avvolto a spira un filo di rame, più sottile del filo C e terminato da due morsetti *m* ed *n*, i quali ricevono due fili *h* e *i* destinati a trasmettere la corrente indotta. Non solamente i due fili avvolti sui dischi A e B sono coperti di seta, ma inoltre ciascun cir-

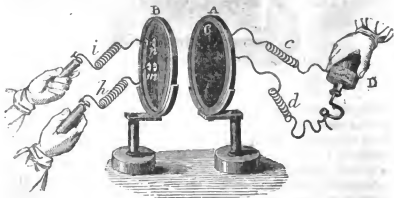



Fig. 555 (*a* = 4).

cuito è separato dal vicino per mezzo di un grosso strato di vernice di gomma lacca; questa condizione è indispensabile quando si voglia esperimentare coll'elettricità delle macchine elettriche, la quale non può essere isolata così facilmente come quella delle pile.

Ciò posto, per dimostrare la produzione della corrente indotta dalla scarica di una bottiglia di Leyda, si fa comunicare, come mostra la figura, uno dei capi del filo C coll'armatura esterna della bottiglia, e l'altra coll'interna: all'istante in cui scocca la scintilla, l'elettricità circolante

nel filo C, agendo per influenza sul fluido neutro del filo avvolto sul disco B, produce in questo filo una corrente istantanea. Infatti, se una persona tiene nelle mani due cilindri di ottone comunicanti coi fili *i* ed *h*, riceve una scossa, la cui intensità è tanto maggiore quanto più sono avvicinati l'uno all'altro i dischi A e B. Questo esperimento dimostra che l'elettricità delle macchine elettriche può, al pari di quella della pila, produrre delle correnti di induzione.

L'apparato di Matteucci serve anche a dimostrare la produzione delle correnti indotte per l'influenza delle correnti voltiane. A questo effetto, si fa passare la corrente di una pila nel filo induttore C, ed in pari tempo si fanno comunicare i due fili *h* ed *i* con un galvanometro. Allora, al momento in cui la corrente induttrice incomincia o cessa, si producono gli stessi fenomeni che si osservano col rocchetto descritto nel paragrafo precedente (fig. 554), e l'ago del moltiplicatore è deviato tanto maggiormente quanto più si avvicinano tra loro i dischi A e B.

709. **Induzione prodotta dalle calamite.** — Come una spranga di acciajo viene magnetizzata dall'influenza di una corrente (695), così, reciprocamente, una calamita può produrre nei circuiti metallici delle correnti di induzione. Faraday dimostrò questa proprietà per mezzo di un rocchetto ad un solo filo lungo da 200 a 300 metri. Poste le due estremità del filo in comunicazione con un galvanometro, come mostra la figura 556, si introduce rapidamente nel rocchetto, che è cavo, una spranga fortemente magnetizzata, ed allora si osservano i fenomeni seguenti:

1.° Al momento in cui si introduce la spranga, il galvanometro indica la corrente istantanea indotta nel filo, inversa di quella che circolerebbe attorno alla spranga quando si paragonasse quest'ultima ad un solenoide, come si è fatto nell'esporre la teoria di Ampère (694).

2.° Appena che si ritrae la spranga, l'indice del galvanometro, che era ritornato allo zero, segna una corrente indotta diretta.

Si può constatare l'influenza induttrice della calamita anche coll'esperienza seguente: si colloca nel rocchetto ad un solo filo una spranga di ferro dolce, e si avvicina rapidamente a quest'ultima una forte calamita; l'indice del galvanometro è tosto deviato, ritorna poi allo zero quando la calamita si tiene ferma, e devia invece in verso con-

trario quando essa si allontani. L'induzione, in questo caso, è prodotta dalla magnetizzazione del ferro dolce sotto l'influenza della spranga magnetizzata.

Si ottengono gli stessi effetti di induzione nel filo di una elettro-calamita, se davanti alle estremità della medesima si fa girare rapidamente una spranga fortemente magnetizzata, in modo che i suoi poli agiscano successivamente per influenza sui due rami dell'elettro-calamita, ovvero anche formando due rocchetti attorno ad una calamita a ferro di cavallo e facendo passare rapidamente

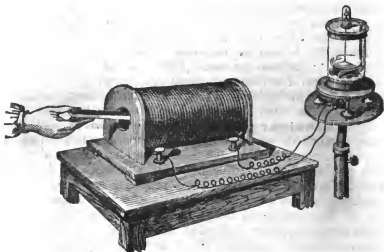



Fig. 556.

una piastra di ferro dolce dinanzi ai poli della calamita; il ferro dolce, magnetizzandosi per influenza, reagisce sulla calamita e ne risultano nel filo delle correnti indotte alternativamente dirette in versi contrarii.

L'induzione prodotta dalle calamite è una patente conferma della teoria di Ampère sul magnetismo (694). Infatti, non essendo altro le calamite, secondo questa teoria, che veri solenoidi, tutte le esperienze ora riferite si spiegano per mezzo della induzione delle correnti che percorrono la superficie delle calamite: insomma l'induzione prodotta dalle calamite è ancora induzione prodotta da correnti.

710. **Induzione prodotta dalle calamite nei**

corpi in movimento. — Arago osservò, pel primo, nel 1824, che il numero delle oscillazioni fatte in tempi eguali da un ago magnetizzato, quando venga deviato dalla sua posizione di equilibrio, è diminuito notabilmente dalla vicinanza di certi metalli, e specialmente del rame, il quale può ridurre il numero delle oscillazioni da 300 a 4. Questa osservazione condusse il medesimo fisico, nel 1825, ad un fatto non meno inaspettato, quello cioè della azione rivolvente che una lastra di rame in movimento esercita sopra un ago magnetizzato.

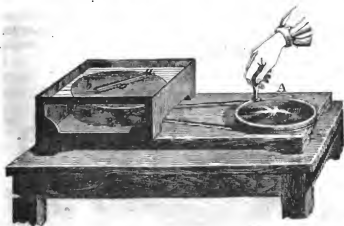



Fig. 557.

Per constatare questo fenomeno si fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 557. Esso consta di un disco metallico M mobile intorno ad un perno verticale. Su questo perno è fissata una rotella B intorno alla quale si avvolge una fune continua, che abbraccia poi anche una ruota più grande A. Facendo girare quest' ultima colla mano, si può comunicare al disco M un moto di rotazione rapidissimo. Al di sopra del disco trovasi una lastra di vetro fissa, e nel centro di questa un perno che sostiene un ago magnetizzato *ab*. Ciò posto, se il disco prende un moto lento ed uniforme, l'ago viene deviato nel verso del movimento e si ferma a distanza di 20 o 30 gradi dal meridiano magnetico, a norma della velocità di rotazione del disco. Ma se questa velocità cresce, l'ago viene deviato sino a più di 90°; ed allora è trascinato, compie un'intiera rotazione e segue il movimento del disco fino a che questo continua.

L'effetto decresce al crescere della distanza dell'ago dal disco, e varia assai colla natura di quest'ultimo. Il massimo effetto si ha coi metalli; è nullo col legno, col vetro, coll'acqua, ecc. Babbage ed Herschel, in Inghilterra, hanno trovato che, rappresentando con 100 l'azione di una calamita sopra un disco di rame, questa azione sopra altri metalli è rappresentata dai numeri seguenti: zinco 95, stagno 4, piombo 25, antimonio 9, bismuto 2. Finalmente, l'effetto è indebolito assai se il disco presenta delle soluzioni di continuità, principalmente nella direzione dei suoi raggi; ma gli stessi fisici hanno constatato che riacquista sensibilmente la primitiva attitudine quando sulle soluzioni di continuità si saldi un metallo qualunque.

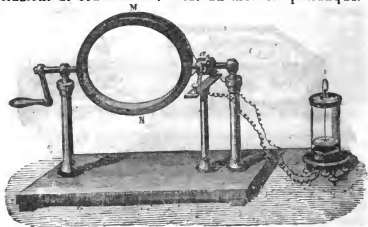



Fig. 558.

Arago riconobbe che la forza impressa all'ago dal moto di rotazione è la risultante di altre tre forze, una perpendicolare al piano del disco e che opera per ripulsione sull'ago; la seconda, diretta nel verso del raggio del disco, operante essa pure per ripulsione sull'ago dai punti della periferia del disco, e la quale, decrescendo pei punti di mano in mano più vicini al centro, diventa attrattiva poi nulla in questo stesso punto; finalmente, la terza forza parallela al piano del disco, attrattiva, è in ogni punto perpendicolare al raggio. La rotazione dell'ago è prodotta da questa ultima forza. Arago non iscoprì l'origine di queste diverse forze, ma Faraday, pel primo, nel 1832, fece vedere col mezzo del galvanometro che esse erano dovute a correnti d'induzione sviluppate nei dischi per influenza dell'ago magnetizzato.

711. Induzione prodotta dall'azione della terra. — Faraday riconobbe, pel primo, che il magnetismo terrestre può sviluppare delle correnti indotte nei corpi metallici in moto, operando come una potente calamita collocata entro il globo nella direzione dell'ago di inclinazione, ovvero, giusta la teoria di Ampère (694), come una serie di correnti elettriche dirette dall'est all'ovest parallelamente all'equatore magnetico. Dimostrò egli questo fenomeno dapprima collocando nel piano del meridiano magnetico, parallelamente all'ago d'inclinazione, una lunga spira di filo di rame coperto di seta: facendo ruotare questa spira di 180 gradi attorno ad un asse che l'attraversava pel mezzo, osservò che ad ogni mezza rivoluzione si produceva una deviazione nel galvanometro comunicante coi capi dell'elice. Per dimostrare poi più chiaramente l'esistenza di queste correnti indotte sviluppate dall'azione della terra, si è costrutto l'apparato rappresentato dalla figura 558. Esso è composto di un anello circolare di legno MN, fissato sopra un albero orizzontale col quale esso può girare più o meno rapidamente. La superficie convessa di questo anello ha una scanalatura entro cui si avvolge un filo di rame coperto di seta. I due capi di questo filo giungono ad un commutatore *a* analogo a quello dell'apparato di Clarke (715), e per mezzo del quale si può ottenere una corrente sempre diretta nel medesimo verso. Da ultimo, i due conduttori, che trovansi in contatto col commutatore, sono posti in comunicazione con un galvanometro per mezzo di due fili di rame. Ora, se l'asse dell'anello si colloca in direzione perpendicolare al meridiano magnetico, in guisa che ogni punto dell'anello possa ruotare in un piano parallelo a questo meridiano, appena che si fa girare il sistema si vede l'ago del galvanometro deviare all'est o all'ovest, secondo il verso in cui avviene la rotazione.

712. Induzione di una corrente sopra sè stessa, estra-corrente. — Quando il filo, nel quale passa una corrente voltiana, è ravvolto sopra sè stesso ad elica, si osserva che le spire dell'elice reagiscono le une sulle altre per dare alla corrente maggiore intensità. Infatti, con una pila di Bunsen, per esempio, di poche coppie, si ottiene una scintilla appena sensibile, tanto chiudendo quanto aprendo il circuito, allorchè il filo, che riunisce i poli, sia corto e non ravvolto. Inoltre, una persona che faccia parte del circuito, tenendo in ciascuna mano un elettrodo,

non sente veruna scossa. Al contrario, se il filo è lungo e ravvolto replicatamente sopra sè stesso in modo di formare un rocchetto a spire compatte, la scintilla diventa nulla quando si chiude il circuito, ma acquista una notabile intensità quando lo si apre, ed una persona che ne formi parte sente in quest'ultimo caso una scossa, la quale è tanto più forte quanto meglio è stabilito il contatto colle mani e quanto più grosso è il rocchetto.

Faraday dimostrò con ingegnosi esperimenti che questa influenza di un rocchetto introdotto nel circuito è dovuta ad una azione induttrice esercitata dalla corrente, tanto al momento in cui si chiude il circuito, quando allorchè lo si apre.

Al momento in cui il circuito si chiude, per la vicendevole azione delle spire del rocchetto, si produce, in verso contrario della corrente principale, una corrente indotta che si distingue col nome di *estra-corrente inversa;* invece, quando il circuito si interrompe, la corrente indotta che si produce è diretta nel medesimo verso della corrente principale, e perciò si chiama *estra corrente diretta.*

Quest'ultima corrente, appunto perchè diretta come la principale, si aggiunge ad essa ed aumenta la scintilla alla interruzione; invece l'estra-corrente inversa, essendo diretta in verso contrario della corrente principale, scema l'intensità di questa, e indebolisce od annulla la scintilla al momento in cui si chiude il circuito. L'estra-corrente adunque può dare potenti effetti soltanto al momento dell'interruzione del circuito, associandosi alla corrente principale.

Per raccogliere l'estra-corrente, a ciascuna estremità del filo di un rocchetto semplice, ossia ad un sol filo, si salda una appendice metallica, per esempio una lastra di rame, e si tiene una lastra in ciascuna mano o si fanno comunicare fra loro per mezzo del conduttore, che vuolsi sottoporre all'estra-corrente, la quale si produce ad ogni interruzione della corrente che passa nel filo del rocchetto. In tal modo si trova che l'estra-corrente produce violenti scosse, vive scintille, decompone l'acqua, fonde il platino e fa girare l'ago magnetizzato. Abria, che fece numerose ricerche sulle correnti di induzione, ha trovato che l'intensità dell'estra-corrente eguaglia circa 0,72 di quella della corrente principale. L'estra-corrente deve essere considerata come una corrente d'induzione sviluppata nel filo induttore medesimo dall'azione mutua delle spire del rocchetto.

Gli effetti sopra descritti acquistano intensità ancora maggiore se si introduce nel rocchetto una spranga di ferro dolce, ovvero, ciò che vale lo stesso, se la corrente si fa passare nei rocchetti di una elettro-calamita. Anche questo è un fenomeno d'induzione dovuto alla magnetizzazione del ferro dolce nell'interno del rocchetto (695). Infatti ogni volta che il ferro perde la polarità, le correnti di Ampère sviluppate sulla sua superficie reagiscono sul rocchetto e vi producono una corrente diretta come l'estra-corrente.

Nei fatti precedenti gli effetti delle due estra-correnti si sovrappongono a quelli della corrente principale. Ora, uno scienziato alemanno, Edlund, immaginò una disposizione di apparati per cui viene annullata l'azione della corrente principale sugli strumenti di misura, e non rimane che quella dell'estra corrente. Sperimentando in questo modo, Edlund giunse alle leggi seguenti:

1.ª *Ciascuna delle estra correnti è proporzionale all'intensità della corrente induttrice.*

2.ª *L'estra-corrente diretta è sempre alquanto minore della estra-corrente inversa*, il che si può spiegare osservando che, al momento dell'interruzione del circuito, dopo averlo lasciato chiuso per qualche tempo, la corrente principale è indebolita dalla polarizzazione che sempre si produce più o meno nella pila (643); d'onde risulta che la corrente induttrice è più debole al momento della interruzione che a quello della chiusura. In altri termini, Edlund ammette che le due estra-correnti siano eguali, almeno riguardo alle quantità totali di elettricità che esse traducono per una stessa sezione del filo, ma che differiscano riguardo agli effetti magnetici o fisiologici. Infatti, giusta le ricerche di Rijke, l'estra-corrente inversa possiede, in questo caso, maggiore intensità e minore durata dell'estra-corrente diretta, risultato contrario a quello che sembrava doversi aspettare giusta le proprietà conosciute delle correnti indotte. (*Annali di chimica e fisica*, 1858, tomo LIII, p. 59.)

713. **Correnti indotte di diversi ordini.** — A malgrado della loro durata istantanea, le correnti indotte possono esse pure, per la loro influenza sopra circuiti chiusi, dare origine a nuove correnti indotte, e queste ad altre, e così di seguito, in modo di produrre delle *correnti indotte di differenti ordini.*

Queste correnti scoperte da Henry, di New-Jersey, si

riconoscono col far reagire gli uni sugli altri diversi rocchetti formati ciascuno di un filo di rame coperto di seta ed avvolto sopra sè stesso a spira in un medesimo piano come quello rappresentato sul disco A nella figura 555. Si osserva che le correnti prodotte allora nei rocchetti sono alternativamente dirette in versi contrarii, e che la loro intensità decresce a misura che sono di un ordine più elevato.

MACCHINE MAGNETO-ELETTRICHE.

714. **Apparato di Pixii.** — Si chiamano macchine magneto-elettriche gli apparati nei quali si approfitta

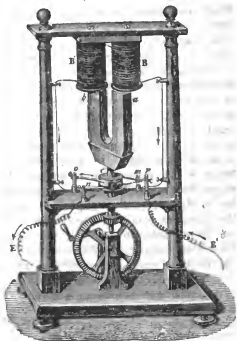



Fig. 559.

della induzione ottenuta colle calamite (709) per produrre delle energiche correnti di induzione, dalle quali si hanno tutti gli effetti delle correnti voltiane. La prima macchina di questo genere fu costrutta da Pixii figlio nel 1832.

Questo apparato è composto di un'elettro-calamita fissa BB', sostenuta da due colonne di legno (fig. 559). Sotto

di essa trovasi un fascio magnetico a ferro di cavallo, sostenuto da un pernio verticale a cui si imprime un moto di rotazione più o meno rapido per mezzo di due ruote ad angolo e di una manovella. Allora i poli *a*, *b* del fascio, radendo il ferro dolce dei rocchetti B, B', lo magnetizzano per influenza successivamente in versi contrarii. Ora, il ferro dolce, ogni volta che prende la polarità magnetica ed ogni volta che la perde, fa nascere nel filo dei rocchetti delle correnti indotte, le quali si propagano nei fili paralleli alle colonne, vengono ad un commutatore *cc'* poi ai fili E, E'. Si vedrà fra poco che, durante un giro intero del fascio magnetico, si producono realmente due correnti contrarie, ma che per l'effetto del commutatore *cc'* la corrente è sempre ridotta a camminare nello stesso verso nei due fili E, E'.

La teoria di queste correnti è quella stessa delle correnti nell'apparato di Clarke (715), il solo di questo genere che ora venga usato.

715. **Apparato di Clarke.** — Clarke, a Londra, costrusse un apparato per mezzo del quale si producono tutti gli effetti delle correnti di induzione magnetica. Questo apparato è composto di un fascio magnetico A (fig. 560), assai potente, curvato a ferro di cavallo ed applicato verticalmente sopra una tavoletta di legno. Dirimpetto a questo fascio trovasi un'elettro-calamita BB' mobile attorno ad un asse orizzontale. I suoi rocchetti sono formati sopra due cilindri di ferro dolce, collegati ad una estremità da una piastra V di ferro dolce, ed all'altra, che trovasi di fronte al fascio magnetico, da una piastra simile di ottone. Queste due piastre sono fissate ad un asse di ottone terminato ad un estremo da un commutatore *qi*, ed all'altro da una puleggia a cui si trasmette il movimento per mezzo di una correggia continua e di una grande ruota R.

Ogni rocchetto è formato da un filo di rame sottilissimo, coperto di seta e che si avvolge per 1500 giri. Un estremo del filo del rocchetto B si unisce sull'asse di rotazione ad un capo del filo del rocchetto B', e le altre due estremità terminano ad una viera di ottone *q* fissa sull' asse, ma isolata dal medesimo per mezzo di un anello d'avorio. Si fa in modo che nei capi che si riuniscono la corrente indotta dirigasi nello stesso verso, il quale effetto si ottiene avvolgendo i fili in verso contrario sui due rocchetti, cioè avvolgendolo su uno di essi *destroso* sull' altro *sinistroso*.

Quando i rocchetti girano, il ferro dolce sul quale ciascuno di essi è avvolto, si magnetizza alternativamente con polarità contrarie sotto l'influenza dei poli della calamita A, ed in ciasciun filo si produce una corrente indotta, che cangia di direzione ad ogni mezza rivoluzione. Infatti, seguiamo uno dei rocchetti,

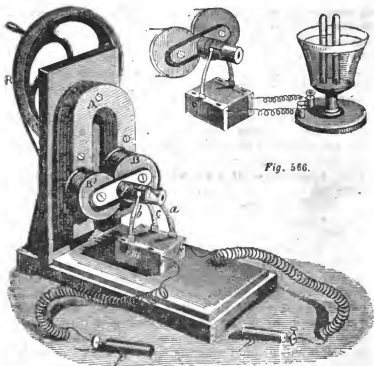



Fig. 566.

Fig. 560.

per esempio B, intanto ch'esso compie una intera rivoluzione davanti ai poli della calamita, facendo la convenzione di rappresentare con *a*, *b* i poli di questa e con *a'*, *b'* quelli che successivamente assume l'estremità del ferro dolce del rocchetto. Consideriamo il rocchetto allorchè è passato davanti al polo australe *a* della calamita (fig. 561). Il ferro ha allora un polo boreale, nel quale si sa che le correnti di Ampère (694) sono dirette nel verso degli indici di un orologio. La freccia *b'* sembra indicare l'opposto, ma si noti che noi supponiamo qui veduti i rocchetti come sono rappresentati nella figura 560, e che la dire-

zione delle correnti d'Ampère nel verso degli indici di un orologio si osserverebbe guardando i rocchetti all' estremità che va radendo la calamita. Ciò premesso, queste correnti operano per induzione sul filo del rocchetto per produrvi una corrente diretta nel medesimo verso, perchè, allontanandosi il rocchetto dal polo *a*, il suo ferro dolce perde la polarità, e le correnti d' Ampère vanno estinguendosi (707, 2°). Adunque l' intensità della corrente indotta nel rocchetto va decrescendo sino a che la retta che congiunge gli assi dei due rocchetti diventi perpendico-

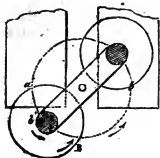



Fig. 561. Fig. 562.

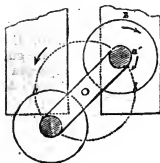
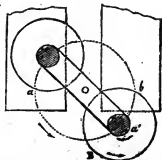
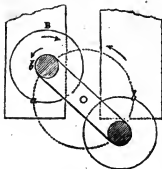



Fig. 563. Fig. 564.

lare a quella che unisce i poli *a* e *b* della calamita. In questa posizione il magnetismo nel ferro dolce è annullato; ma tosto dopo il ferro dolce si magnetizza in verso contrario, avvicinandosi al polo *b*, e diventa un polo australe (fig. 562). Ora, le correnti di Ampère sono in tal caso dirette nel verso della freccia *a'*, e, siccome sono incipienti, sviluppano nel filo del rocchetto una corrente

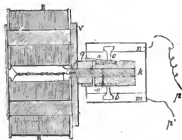
inversa (707. 1ª), la quale si trova perciò diretta nello stesso verso di quella sviluppata nel primo quarto della rivoluzione. Inoltre, questa seconda corrente si sovrappone in parte alla prima, perchè nello stesso tempo che il rocchetto si allontana da *a* va avvicinandosi a *b*. In conclusione, durante la mezza rivoluzione inferiore da *a* in *b*, il filo del rocchetto è stato successivamente percorso da due correnti indotte dirette nello stesso verso, ora, se il moto di rotazione è abbastanza rapido, si potrà ammettere che durante questa mezza rivoluzione siasi sviluppata nel filo una corrente unica.

Applicando un identico ragionamento alle figure 563 e 564 si vedrà che, durante la mezza rivoluzione superiore, il filo del rocchetto B è ancora percorso da una sola corrente, la quale però ha direzione opposta a quella della corrente avuta nella mezza rivoluzione inferiore. D'altronde, quanto si disse pel rocchetto B si applica evidentemente anche al rocchetto B'. Ma però conviene notare che, essendo i rocchetti l'uno *destrorso* l'altro *sinistrorso*, durante ogni mezza rivoluzione le correnti sono costantemente nel medesimo verso in ambedue i rocchetti. Nella mezza rivoluzione seguente ambedue cangiano, ma l'una e l'altra sono ancora in egual verso dirette.

Per seguire l'andamento di queste correnti e vedere come si riducano ad essere sempre dirette nello stesso verso, riferiamoci alla figura 565 che rappresenta una sezione orizzontale del commutatore e dei rocchetti. Come già si è detto, i due capi dei fili dei rocchetti, in cui le correnti vanno nello stesso verso, si riuniscono sopra un asse metallico K, e gli altri due, in cui le correnti sono pure concordanti fra loro, vanno ad una viera *q* di rame isolata dall'albero K. Questo isolamento si ottiene per mezzo di un cilindro d'avorio che attraversa l'albero, e sul quale trovasi fissata la viera *q*. Finalmente, sopra un secondo cilindro d'avorio sono adattate due mezze viere di rame *o*, *o'*, isolate l'una dall'altra, ma comunicanti, la prima colla viera *q*, la seconda coll'asse K. Ne segue che, durante il moto rotatorio dei rocchetti, ciascuna viera *o*, *o'* rappresenta un polo che cangia di segno ad ogni mezza rivoluzione. Dai due pezzi *o*, *o'* la corrente passa sopra due lamine di ottone *b* e *c* fisse sopra due piastre *m* ed *n* della stessa sostanza. Per questa disposizione, in ciascuna delle lamine *b* e *c*, la corrente è sempre diretta nello stesso verso. Infatti, la lamina *c*, per esempio, tocca l'uno

dopo l'altro i due pezzi *o*, *o'*, epperò trovasi successivamente in comunicazione coll'asse e con *q*, e quindi coi due capi dei fili, poi cogli altri due. Ma essendo i fili avvolti in versi contrarii, quando il rocchetto B' prende il posto di B, la corrente della viera *q*, come quella dell'asse, cangia di segno, e, per conseguenza, altrettanto accade di ciascuna viera *o*, *o'*; e siccome attualmente la lamina *c* ne tocca la metà opposta a quella con cui era in contatto dapprima, la corrente passante per la lamina è diretta ancora nello stesso verso.

Fig. 565.

Colle sole due lamine *b* e *c* le due correnti contrarie, che partono dai due pezzi *o*, *o'*, non potrebbero riunirsi. Per chiudere il circuito bisogna far comunicare fra loro i due pezzi *m* ed *n*, per mezzo di un conduttore qualunque, come si vede nelle figure 566 e 568. Si chiude anche il circuito per mezzo di una terza lamina *a* (fig. 560) e due appendici *i*, delle quali una sola è visibile nella figura. Queste due appendici sono isolate l'una dall'altra sopra un cilindro d'avorio, ma comunicano rispettivamente coi pezzi *o*, *o'*. Ogniqualvolta la lamina *a* tocca una di queste appendici è in comunicazione colla lamina *b*, e il circuito è chiuso perchè la corrente passa da *b* in *a*, poi nella lamina *c* per la piastra *n*. Al contrario, finchè la lamina *a* non tocca una delle appendici, la corrente è interrotta.

Per gli effetti fisiologici, l'uso della lamina *a* accresce di molto l'intensità delle scosse. A questo effetto si fissano in *n* ed *r* due lunghi fili di rame ravvolti ad elice e terminati da due cilindri *p* e *p'*, che si prendono colle mani. Allora, sino a tanto che la lamina *a* non tocca le appendici *i*, la corrente passa nel corpo dello sperimentatore, ma senza produrvi una scossa ben distinta; mentre che ad ogni contatto della lamina *a* con una delle appendici *i* il circuito è chiuso, come si è veduto, dai pezzi *b*, *a*, *c* e, cessando allora di passare nei fili *np*, *rp'*, producesi in questi e attraverso al corpo dell'esperimentatore una estra-corrente diretta (712), che cagiona una forte scossa. Questa si rinnova ad ogni mezza rivoluzione dell'elettro-ca-

lamita, e la sua intensità aumenta colla velocità di rotazione. Inoltre i muscoli si contraggono con tale violenza che non posson obbedire alla volontà, e le dita non si possono più estendere. Con un apparato ben costrutto e di grandi dimensioni non si può resistere a reiterate scosse; chi tentasse persistere sarebbe rovesciato sul suolo e proverebbe dolori violentissimi.

Fig. 567.

Fig. 568.

Coll'apparato di Clarke si fanno produrre alle correnti di induzione tutti gli effetti delle correnti voltiane. La figura 566 mostra come si disponga l'esperimento della decomposizione dell'acqua. Allora si sopprime la lamina *a*, trovandosi chiuso il circuito dal liquido in cui si immergono i due fili che servono di elettrodi.

Per gli effetti fisiologici e chimici il filo avvolto sui rocchetti è sottile, ed ha, sopra ciascun rocchetto, la lunghezza di 500 o 600 metri. Per gli effetti fisici, al contrario, il filo è grosso ed ha una lunghezza di 25 o 30 metri sopra ciascun rocchetto. Le figure 567 e 568 mostrano la forma che si dà in quest'ultimo caso ai rocchetti ed al commutatore. La prima di queste figure rappresenta la disposizione per infiammare l'etere, e la seconda quella per l'incandescenza di un filo metallico *o*, nel quale passa, sempre nello stesso verso, la corrente che va dalla lamina *a* alla *c*.

716. **Macchina magneto-elettrica di Nollet.** — Il principio dell'apparato di Clarke ha ricevuto, in questi ultimi anni, una importante applicazione nella macchina *magneto-elettrica* di Nollet.

Questa macchina fu inventata nel 1850 da Nollet, professore di fisica alla scuola militare di Brusselle. Questo fisico erasi proposto di applicare le correnti elettriche, ottenute colla sua macchina, alla decomposizione dell'acqua per adoperare in seguito, nella illuminazione, il gas idro-

geno prodotto con questa decomposizione; ma il successo non corrispose alla sua aspettazione ed egli se ne accorò tanto da perdere la vita. Per buona ventura egli, morendo, lasciò la sua macchina a Giuseppe Van Malderen, uomo intelligente, che, non solamente la perfezionò, ma ebbe la felice idea di applicarla alla illuminazione elettrica.

Questa macchina, oggidì proprietà dell'*Alliance*, è rappresentata dalla figura 569, quale trovasi funzionare in una officina degli Invalidi, dove è stata costrutta. Essa consta di una intelajatura di ghisa alta 1^{m},65, al contorno della quale sono disposte, sopra traverse parallele di legno, otto serie di cinque fasci magnetici potenti A, A, A.... Questi fasci, ciascuno dei quali può portare da 60 a 70 chilogrammi, sono curvati a ferro di cavallo e raggruppati in modo che, considerandoli sia parallelamente all'asse della intelajatura sia in un piano perpendicolare a questo asse, si trovano sempre di fronte i poli di nome contrario. In ciascuna serie i fasci estremi sono composti di tre piastre magnetizzate, mentre i tre fasci intermedii sono di sei piastre, perchè operano con ambedue le loro facce, mentre i primi operano con una sola.

Sopra un asse orizzontale di ferro, che si stende dall'uno all'altro capo dell'intelajatura, sono fissati quattro curri di bronzo, ciascuno dei quali corrisponde ad un intervallo vuoto tra i fasci magnetizzati di due serie verticali, ed ha sulla sua periferia 16 rocchetti, cioè tanti quanti sono i poli magnetici in una serie verticale di fasci. Questi rocchetti, rappresentati nella figura 571, differiscono da quelli di Clarke; infatti, invece di essere di un solo filo, sono di 12 fili ciascuno di 10 ,50, per il che si diminuisce la resistenza e si guadagna in quantità. Le spire di questi rocchetti sono isolate con bitume di Giudea sciolto nell'essenza di trementina. Finalmente, esse non sono avvolte sopra cilindri di ferro massicci, ma sopra due tubi di ferro fessi per tutta la loro lunghezza, il che rende più pronta la magnetizzazione e la demagnetizzazione allorchè i rocchetti passano davanti ai poli delle calamite. Inoltre i dischi di rame, che terminano i rocchetti, sono tagliati nel verso del loro raggio per impedire la produzione di correnti indotte in questi dischi (726). I quattro curri essendo forniti rispettivamente di 16 rocchetti, si hanno in tutto 64 rocchetti disposti in 16 serie orizzontali di 4, come si vede in *d* alla sinistra dell'intelajatura. Siccome la lunghezza del filo sopra un rocchetto è di 12 volte 10^{m},50,

cioè di 126^m, la lunghezza totale dei fili nell'apparato intiero è di 64 volte 126^m, ossia 8064.

Su tutti i rocchetti i fili sono avvolti nel medesimo verso e comunicano tra loro tutti quelli che si trovano sui

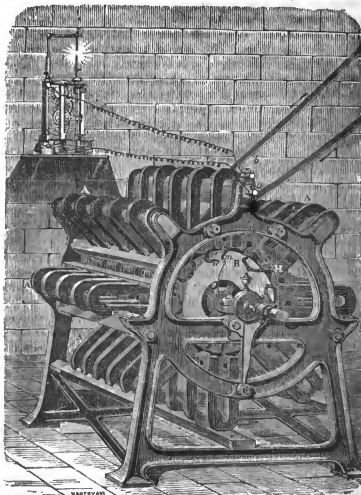



Fig. 569.

quattro curri. Per ciò i rocchetti sono collegati tra loro come mostra la figura 570: sul primo curro i dodici fili del primo rocchetto terminano sopra una tavoletta di acajù applicata sulla faccia anteriore del curro, ad una

lastra di rame *m* comunicante per mezzo di un filo O colla parte centrale dell'asse che porta i curri. Dall'altro capo, sulla seconda faccia del curro, gli stessi fili vanno a saldarsi sopra una lastra tratteggiata nella figura, la quale li collega al rocchetto *g*, e da questo sono guidati al rocchetto *q* per mezzo di una lamina *i*, e così di se-

Fig. 570.

Fig. 571.

guito per i rocchetti *l*, *u*,... fino all'ultimo *v*. I fili di quest'ultimo rocchetto terminano ad una lastra *u* che, attraversando il primo curro, va a saldarsi ai fili del primo rocchetto del curro seguente, sul quale si ripete la medesima serie di comunicazioni; poi i fili passano al terzo curro e da questo al quarto, e, finalmente, alla estremità posteriore dell'asse.

In somma, essendo i rocchetti così ordinati in seguito gli uni agli altri come gli elementi di una pila disposta in tensione (653), si ha la *elettricità di tensione.* Se, al contrario, si vuole ottenere la *elettricità di quantità,* si fanno comunicare alternativamente le lastre, non più tra loro, ma con due anelli metallici in modo che tutti i capi dello stesso nome siano collegati col medesimo anello; in tal caso ciascuno di questi anelli è un polo.

Conosciuti questi particolari, è facile comprendere come si produca e si propaghi l'elettricità nell'apparato. Una correggia continua, che riceve moto da una macchina a vapore, si avvolge sopra una carrucola fissata all'estremità dell'asse che porta i curri ed i rocchetti, ed imprime a tutto il sistema un moto di rotazione più o meno rapido. L'esperienza ha mostrato che la velocità più conveniente per ottenere la massima luce è quella di 235 giri per minuto. Ora, se si considera dapprima un rocchetto solo, è evidente che, durante questa rotazione, i tubi di ferro dolce sui quali esso è formato, passando tra i poli delle

calamite, subiscono alle loro due estremità induzioni opposte, i cui effetti si sommano, ma cangiano da un polo al seguente; e siccome questi tubi, nel periodo di una rivoluzione, passano successivamente dinanzi a 16 poli alternativamente di nomi contrarii, così essi si magnetizzano otto volte in verso contrario. Adunque nello stesso periodo si producono nel rocchetto sedici correnti indotte, di cui otto dirette ed altrettante inverse. In un minuto, compiendosi 235 giri, si hanno pertanto 235 volte 16 cioè 3670 correnti alternativamente in versi contrarii. Lo stesso fenomeno si produce in ciascuno dei 64 rocchetti; ma siccome essi comunicano tutti tra loro e sono avvolti nel medesimo verso, i loro effetti si sovrappongono, e si ha sempre lo stesso numero di correnti, rese però più intense.

Rimangono a raccogliersi queste correnti per produrre

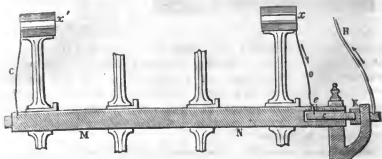



Fig. 572.

una luce elettrica intensa. A questo scopo si stabiliscono le comunicazioni come mostra la figura 572. Nella parte posteriore, l'ultimo rocchetto x' del quarto curro termina, per mezzo di un filo G, all'asse MN che porta i curri; la corrente viene così tradotta sull'asse, e di là su tutta la macchina, d'onde può in seguito raccogliersi in quel punto che si vuole. Anteriormente, il primo rocchetto x del primo curro comunica, per mezzo di un filo O, non già coll'asse, ma con un cilindro d'acciajo c, che penetra nell'asse, dal quale è isolato per mezzo di un rivestimento d'avorio. Dal cilindro c la corrente passa sopra un pezzo metallico K fisso, da cui, finalmente, ascende nel filo H, che la traduce al piuolo a della figura 569. Il piuolo b comunica con tutta l'intelajatura e, per conseguenza, col filo dell'ultimo rocchetto x' (fig. 572). Dai piuoli a e b la corrente è condotta per mezzo di fili di rame a due

carboni la cui distanza è fissata per mezzo di un regolatore, che sarà descritto fra poco (717).

Nelle macchine ora descritte le correnti di direzione contraria non vengono rovesciate, e, per conseguenza, ciascun carbone è alternativamente polo positivo e negativo, e di fatti consumansi ambedue egualmente. L'esperienza ha dimostrato che, finchè si applicano le correnti alla produzione della luce, non è necessario ridurle tutte in un verso, ma quando si vogliano adoperare per la galvanoplastica o per la magnetizzazione è necessario dirigerle tutte nello stesso verso per mezzo di un commutatore.

La luce prodotta dalla macchina magneto-elettrica è assai intensa: con una macchina di quattro curri disposti in quantità, si ha una luce equivalente a quella di 150 lampade Carcel. Con una macchina di sei curri, come quelle che ora sta costruendo la compagnia dell'*Alliance*, si potrà avere la luce di 200 lampade Carcel.

Questa luce, la quale non esige altra spesa che quella di mezzo cavallo-vapore all'incirca per far girare i curri, quando questi siano soltanto quattro, sembra destinata principalmente a servire per l'illuminazione dei fari e dei vascelli per prevenire gli scontri durante la notte.

717. Regolatore della luce elettrica di Serrin. — Questo nuovo regolatore, come i precedenti, dà l'avvicinamento dei carboni di mano in mano che si consumano, ma di più ne produce l'allontanamento allorchè essi trovansi a contatto. Oltre a ciò, è posto in moto non da un congegno di orologeria, ma dal peso di uno dei pezzi che lo compongono. A questo intento, l'asta B, che porta il carbone positivo *c* ed è terminata alla sua parte inferiore con un'asta dentata C (fig. 573), scorre a sfregamento dolce in un'asta cava H. Quando l'asta B scende pel proprio peso, e scende con essa il carbone positivo, l'asta dentata C trasmette il movimento ad una ruota dentata G sull'asse della quale è fissata una carrucola D. Questa carrucola girando, da destra a sinistra, fa avvolgere una catena *z*, che passa sopra una seconda carrucola *y* e va ad attaccarsi in *i* alla parte inferiore di un'asta rettangolare: quest'ultima, elevandosi, fa salire il pezzo K, il quale sostiene il carbone negativo *c'*, di modo che questo ascende a misura che il carbone positivo si abbassa. Nella figura 573 il diametro della carrucola D è solo la metà di quello della ruota G, d'onde segue che il carbone positivo si muove con velocità doppia del nega-

tivo: tale è il caso ordinario di una corrente prodotta da una pila voltiana, perchè allora il consumo del carbone positivo è doppio di quello del negativo. Ma colla macchina

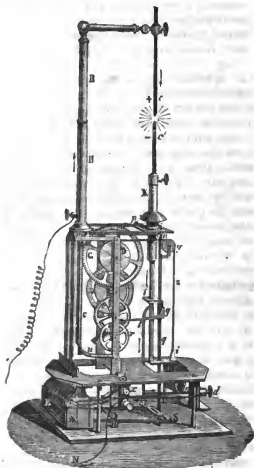



Fig. 573.

elettromagnetica descritta nel paragrafo precedente, la carrucola e la ruota devono avere diametri eguali, perchè il carboni si consumano egualmente.

Ora ecco come opera il regolatore: trovandosi i due carboni in contatto, la corrente entra pel filo P, ascende lungo HB sino al carbone positivo; indi passa sul carbone negativo, sul pezzo K, e, seguendo l'andamento indicato

dalle frecce, giunge sino al piuolo *d* alla destra dell'intelajatura inferiore, ma senza penetrare nel restante dell'apparato, perchè tutti i pezzi pei quali passa la corrente sono isolati per mezzo di piedi d'avorio *iiii*. Dal piuolo *d* la corrente è condotta, per mezzo d'un filo di rame coperto di gutta perca, ad una elettro-calamita E, dalla quale esce per venire ad un piuolo *x* e ritornare finalmente alla pila pel filo N.

Appena la corrente passi nell'elettro-calamita, viene sollevata un'armatura di ferro dolce A, la quale produce l'allontanamento dei due carboni. Infatti, a quest'armatura è attaccato un telajo di rame VS oscillante attorno ad un asse orizzontale V e collegato ad un suo capo coll'asta *q* articolata in *n* con un secondo telajo *mnp* mobile esso pure attorno ad un asse *m*. Ora, l'armatura A, quando è sollevata, fa girare il quadro VS, e, abbassandosi l'asta *q*, si produce l'allontanamento dei due carboni; ma, nel medesimo tempo, insieme coll'asta *q* si abbassa un pezzo *g* terminato da una lastra orizzontale *t*. Ora, il pezzo *g* imboccando allora nei denti di una ruota a corona *r*, questa ruota viene fermata, e con essa tutte le ruote dentate comunicanti coll'asta C. Adunque in allora i carboni restano fissi fino a tanto che la corrente conserva intensità sufficiciente per tenere sollevata l'armatura A. Ma, consumandosi i carboni, la loro distanza cresce, la corrente si affievolisce, l'armatura discende e la ruota *r* rimane libera. Tosto allora i carboni si muovono l'uno verso l'altro senza però poter giungere a contatto, perchè, prima che vi giungano, la corrente riacquista intensità sufficiente per sollevare l'armatura e fermare i carboni. L'avvicinarsi e l'allontanarsi dei carboni sono adunque regolati dal medesimo apparato, e di qui il nome di *regolatore automatico*, che meritamente gli vien dato dal suo inventore.

718. **Rocchetto di Ruhmkorff**. — Ruhmkorff, ha costrutto, pel primo, nel 1851, dei rocchetti a due fili, di grandissime dimensioni, mediante i quali si arriva a far produrre alle correnti d'induzione, con sole tre o quattro coppie di Bunsen, degli effetti fisici, chimici e fisiologici eguali ed anche superiori a quelli che si ottengono colle macchine elettriche e colle batterie più potenti.

I rocchetti costrutti dapprima da Ruhmkorff erano collocati verticalmente. Ora egli li dispone orizzontali (fig. 574). Le dimensioni degli apparati sono variabili. I più grandi

rocchetti che Ruhmkorff abbia costrutto finora hanno 65 centimetri di lunghezza e 24 di diametro. La figura 574 fu disegnata sul modello di un rocchetto di 35 centimetri di lunghezza. Tutti questi rocchetti sono formati di due fili: uno grosso, di due millimetri di diametro, ed uno sottile, d'un terzo di millimetro. Questi fili sono di rame, coperti di seta e, inoltre, ciascuna spira è isolata dalla seguente

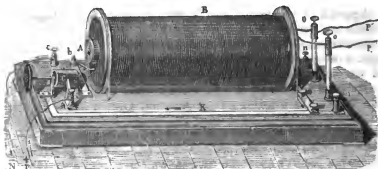



Fig. 574.

per mezzo di uno strato di gomma lacca fusa. Il filo grosso è l'induttore, cioè quello pel quale passa la corrente della pila; la sua lunghezza è di 3 o 4 metri. Questo filo è avvolto pel primo sopra un cilindro cavo di legno o di cartone che forma il nucleo del rocchetto. Il tutto è chiuso in un inviluppo isolatore di vetro o di gomma elastica e sopra quello si avvolge il filo sottile, che è l'indotto, la cui lunghezza varia secondo le dimensioni dei rocchetti. Nei grandi rocchetti il filo sottile giunge fino a 100,000 metri di lunghezza; il suo diametro allora è minore che nei piccoli rocchetti cioè $\frac{1}{5}$ di millimetro in luogo di $\frac{1}{3}$.
Aumentando la lunghezza del filo sottile, si accresce la tensione; al contrario, aumentando il suo diametro, si accresce la quantità. Per far agire i piccoli rocchetti di 30 o 35 centimetri di lunghezza abbisognano da due a quattro grandi coppie di Bunsen; pei più grandi rocchetti Ruhmkorff crede che si debba adoperare una superficie di pila circa quadrupla di quella che si usa per i piccoli.

Conosciuti questi particolari, ecco come funziona l'apparato. La corrente della pila, venendo pel filo P ad un piuolo *a*, giunge al commutatore C, che sarà descritto più

innanzi (fig. 576), poi al piuolo *b*, d'onde entra finalmente nel rocchetto. Ivi essa percorre il filo grosso e, agisce per induzione sul filo sottile ed esce poi dall'altro capo del rocchetto pel filo S (fig. 575). Seguendo la direzione delle frecce, si vede che la corrente ascende nel piuolo *i*, giunge ad un pezzo di ferro oscillante *o*, denominato *martello*, discende per l'*incudine h*, ed arriva ad una piastra di rame K, che la riconduce al commutatore C (fig. 574), indi al piuolo *c*, ed infine al polo negativo della pila pel filo N.

Ora si sa (707) che la corrente, passando nel filo grosso, agisce per induzione sul filo sottile soltanto quando comincia o finisce. È adunque necessario che la corrente sia costantemente interrotta. Questa interruzione si ottiene per mezzo del martello oscillante *o* (fig. 575). In fatti, nel centro del rocchetto, da un capo all'altro, vi è un fascio di grossi fili di ferro dolce, i quali formano nel loro complesso un cilindro un poco più lungo del rocchetto, come lo si vede in A, alle due estremità. Questo fascio magnetizzandosi, allorchè la corrente della pila passa nel filo grosso, il martello *o* viene attratto, ma ben tosto, il contatto non avendo più luogo tra *o* ed *h*, la corrente è interrotta, il magnetismo cessa ed il martello ricade; in seguito, passando di nuovo la corrente, ricomincia la medesima serie di fenomeni, in modo che il martello oscilla assai velocemente.

A misura che la corrente della pila passa così, ad intervalli, nel filo grosso del rocchetto, si produce, a ciascuna interruzione, nel filo sottile, una corrente d'induzione successivamente diretta ed inversa. Ora, essendo questo bene isolato, la corrente indotta acquista una tensione considerabile, la quale può produrre degli effetti molti intensi. Fizeau ha aumentato questa intensità, introducendo un condensatore nel circuito induttore. Questo condensatore, come fu costrutto da Ruhmkorff, si compone, nei rocchetti grandi, di cento cinquanta fogli di stagno di un mezzo metro quadrato di superficie, ciò che dà una superficie totale di settantacinque metri quadrati. Questi fogli riuniti formano due armature che si incollano sulle due faccie di una lista di taffettà gommato, che le isola, indi si piegano più volte, in modo che il tutto possa collocarsi al disotto del rocchetto nello zoccolo di legno che lo sostiene. Una di queste armature, la positiva, è in comunicazione col piuolo *i*, che riceve la corrente alla sua

uscita dal rocchetto, e l'altra, la negativa, comunica col piuolo *m* che per mezzo della lamina K trovasi in congiunzione metallica col commutatore C e colla pila.

Per comprendere l'effetto del condensatore, osserviamo che a ciascuna interruzione della corrente induttrice si produce una estra-corrente diretta nello stesso verso della induttrice (712), la quale, prolungandone la durata, ne indebolisce la tensione. Da questa estra-corrente è prodotta la scintilla che scocca ad ogni interruzione tra il martello e l'incudine, scintilla, che quando la corrente è forte, altera rapidamente la superficie di contatto del martello e dell'incudine, quantunque queste superficie siano di platino. Viceversa, per

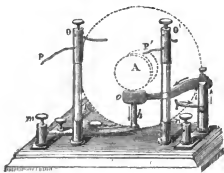
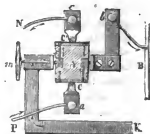



Fig. 575. *Fig.* 576.

l'interposizione del condensatore nella corrente induttrice, l'altra corrente, in luogo di svolgersi in forti scintille, si slancia nel condensatore, l'elettricità positiva sopra l'armatura che comunica con *i* e la negativa sopra quella che comunica con *m*. Ora, le elettricità contrarie dalle due armature, riunendosi tosto, attraverso al filo grosso, alla pila e al circuito CK*m*, danno origine ad una corrente contraria a quella della pila, la quale toglie subito il magnetismo al fascio di ferro dolce; la corrente indotta resta adunque di minor durata e però più intensa. I piuoli *m* e *n* collocati sul davanti della tavoletta servono a raccogliere l'estra-corrente.

Ci resta a descrivere il commutatore, che serve ad interrompere la corrente e a farla passare in un verso o nell'altro ad arbitrio. La figura 576 ne rappresenta una sezione orizzontale: esso è tutto di rame, tranne il nucleo centrale A, che è un cilindro di bosso; sui due fianchi sono fissi due contatti di rame C C', sopra i quali si ap-

poggiano due lamine elastiche di ottone collegate coi piuoli *a* e *c* che ricevono gli elettrodi della pila. Per conseguenza, la corrente, giungendo in *a*, ascende in C, poi, per una vite *y*, va al piuolo *b* del rocchetto, indi, ritornando per la lamina K che comunica col martello, va sino in C′ per mezzo della vite *x*, discende in *c* e ritorna alla pila pel filo N. Ora, se per mezzo del bottone *m* si fa girare il commutatore di 180 gradi, è facile vedere che avviene il contrario; allora cioè la corrente va al martello per la lamina K ed esce in *b*. Finalmente, se si fa girare il bottone solo di 90 gradi, le lamine elastiche non si appoggiano più sui contatti C, C′ ma sul cilindro di bosso A, e la corrente viene interrotta.

I due fili che si vedono uscire dal rocchetto in O, O′ (fig. 575) sono i capi del filo sottile, i quali si trovano in comunicazione coi due fili più grossi P, P′ che servono a raccogliere la corrente indotta e a dirigerla dove si voglia. Aggiungiamo, finalmente, che, coi rocchetti potenti, l'interruttore a martello oscillante, rappresentato nella figura 375, è insufficiente, perchè le superficie di contatto si scaldano al punto da saldarsi insieme. Ma Foucault ha di recente immaginato un interruttore a mercurio, che non presenta più questo inconveniente e costituisce perciò un importante perfezionamento dell'apparato di Ruhmkorff.

719. **Effetti prodotti col rocchetto di Ruhmkorff.** — Masson riconobbe, pel primo, la considerabile tensione delle correnti di induzione e cercò di trarne vantaggio per ottenere effetti di elettricità statica. A questo scopo costrusse, nel 1842, insieme con Breguet, un apparato d'induzione dal quale ottenne effetti luminosi e calorifici assai notabili. Ma Ruhmkorff, isolando compiutamente colla gomma lacca le correnti d'induzione, potè, nel suo rocchetto, rendere utile tutta la tensione di queste correnti e riconoscere che esse possedono simultaneamente le proprietà della elettricità statica e della dinamica. Molti fisici si diedero a moltiplicare gli esperimenti col rocchetto di Ruhmkorff, e particolarmente Grove, Neef, Poggendorff, Quet, Masson, Despretz, Edmondo Becquerel, Gaugain e Du-Moncel.

Gli effetti del rocchetto di Ruhmkorff sono prodotti dalle correnti indotte che si sviluppano nel filo ogni volta che si interrompe o si ristabilisce la corrente induttrice. Ora, queste correnti indotte non sono eguali in durata e in tensione: la corrente diretta, o di *apertura*, dura meno ed

ha maggiore tensione, mentre la corrente inversa, o di *chiusura*, ha durata più lunga e tensione minore. Per conseguenza, se si pongono in contatto i due capi P,P' del filo sottile (fig. 574 e 575), circolando allora nel filo due quantità eguali e contrarie di elettricità, i loro effetti tendono ad elidersi. Infatti, se nel circuito si introduce un galvanometro si osserva solo una piccolissima deviazione nel verso della corrente diretta. Ma, se si allontanano le due estremità P, P' del filo, opponendosi allora al passaggio della corrente la resistenza dell'aria, passa di preferenza la corrente che ha maggiore tensione, cioè la diretta; e, quanto più cresce la distanza da P a P', meglio si manifesta l'effetto della sola corrente diretta, però sino ad un certo limite, oltre il quale non passa più nè la corrente diretta nè l'inversa. Allora in P e P' vi sono soltanto tensioni di elettricità alternativamente contrarie.

Gli effetti del rocchetto si distinguono, come quelli delle batterie e delle pile in *fisiologici*, *chimici*, *calorifici*, *luminosi* e *meccanici*, colla differenza però che qui sono molto più intensi. Gli effetti fisiologici sono tanto poderosi che le scosse date da rocchetti di medie dimensioni, quando il filo è percorso dalla corrente di una sola coppia di Bunsen, non possono venir più sopportate. Con due coppie di Bunsen si uccide un coniglio, e con alquante coppie si potrebbe uccidere un uomo.

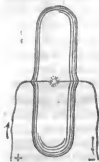



Fig. 577.

Gli effetti calorifici possono pure essere facilmente constatati: infatti, un filo di ferro assai sottile, interposto tra le due estremità dei fili P e P', viene fuso e brucia con viva luce. Qui occorre un curioso fenomeno; ponendo a capo di ciascuno dei fili P e P' un sottilissimo filo di ferro, ed avvicinando poi l'uno all'altro questi due fili di ferro, si fonde soltanto quello che corrisponde al polo negativo, e però risulta essere maggiore la tensione al polo negativo che al positivo.

Assai svariati sono gli effetti chimici del rocchetto di Ruhmkorff, a motivo che questo apparato dà simultaneamente elettricità statica ed elettricità dinamica. Così, per esempio, a seconda della forma degli elettrodi di platino immersi nell'acqua, o della loro distanza, o della quantità d'acido contenuto nell'acqua, si possono ottenere o effetti luminosi senza decomposizione, o la decomposizione del-

l'acqua con separazione dei due gas ai due poli, o la decomposizione e mescolanza dei gas ad un solo polo, o, finalmente, mescolanza dei gas ad ambedue i poli.

Anche i gas possono venire decomposti o combinarsi per l'azione prolungata della scintilla che dà la corrente d'induzione. Infatti, Edmondo Becquerel e Fremy hanno constatato che, facendo passare la corrente del rocchetto di Ruhmkorff in un tubo pieno d'aria ed ermeticamente chiuso, come mostra la figura 577, l'azoto e l'ossigeno dell'aria si combinano e producono dell'acido azotoso.

Gli effetti luminosi del rocchetto di Ruhmkorff sono essi pure svariatissimi secondo che si producono nell'aria, nel vuoto o nei vapori assai diradati. Nell'aria si ottiene una scintilla vivace e accompagnata da forte crepito; nel

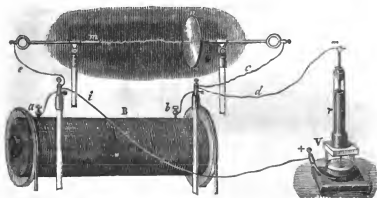



Fig. 578.

vuoto gli effetti sono dei più curiosi. Per istituire queste esperienze, si fanno comunicare i due fili P e P' del rocchetto colle due verghe dell'uovo elettrico già descritto (621), il quale serve anche ad osservare gli effetti luminosi che produce nel vuoto la elettricità della macchina elettrica. Fatto il vuoto nel globo, fino ad un millimetro o due, si vede una bella striscia luminosa stendersi da una sfera all'altra, quasi continua e di intensità eguale a quella che darebbe una potente macchina elettrica, quando il suo disco si fa girare rapidamente. Questa esperienza è rappresentata in piccolo nella figura 583. La figura 581 rappresenta una notabile deviazione che subisce la luce elettrica quando si accosta all'uovo la mano.

Il polo positivo è il più brillante; la sua luce è di un rosso di fuoco, mentre quella del polo negativo è più debole e violacea; inoltre la luce si protende per tutta l'asta negativa (*), il che non avviene al polo positivo.

Finalmente, il rocchetto di Ruhmkorff produce effetti meccanici tanto energici, che coll'apparato grande, della lunghezza di 65 centimetri, si trafora istantaneamente una massa di vetro di 5 centimetri di grossezza. L'esperimento si dispone allora come mostra la figura 578. Si fanno corrispondere i due poli della corrente indotta ai bottoni *a*, *b* e, per mezzo di un filo di rame *i*, si fa comunicare il bottone *a* col conduttore inferiore di un buca-vetro

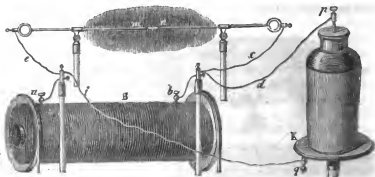



Fig. 579.

simile al già descritto (fig. 473), poi il polo *b*, per mezzo del filo *d*, si pone in comunicazione col conduttore superiore. Questo è isolato entro un grosso tubo di vetro *r* pieno di gomma lacca, che vi è stata versata liquida. Tra i due conduttori trovasi la piastra di vetro V che si vuole

(*) La luce emerge come un getto zampillante dal polo positivo, anzi dal punto di esso che è più vicino al negativo, e si slancia sulla sfera che trovasi al polo negativo protendendosi anche sull'asta, quando i due poli non siano molto lontani l'uno dall'altro.

Aumentando gradamente la distanza, la luce si limita nello spazio interposto alle due sfere, e, crescendo ancora la distanza, diventa intermittente, poi cessa del tutto. Con una sola coppia di Bunsen si può ottenere nell'aria rarefatta una striscia luminosa lunga più di mezzo decimetro.

(Nota dei Trad.)

forare. Nel caso che questa presentasse soverchia resistenza, si può temere che la scintilla scocchi nello stesso rocchetto, e, perforando lo strato isolante tra i fili, la guasti. Per evitare questo accidente, i due poli del rocchetto sono posti in comunicazione, per mezzo di fili *e* e *c* con due aste metalliche orizzontali più o meno discostate l'una dall'altra. Allora, se la scintilla non può forare il vetro, scocca fra *m* ed *n* ed il rocchetto è preservato.

Il rocchetto di Ruhmkorff può anche adoperarsi, come la macchina elettrica, per caricare la bottiglia di Leida o delle batterie di parecchie giare. La figura 579 mostra come si dispone l'esperimento della carica di una bottiglia. Le armature di essa sono poste in comunicazione coi poli del rocchetto rispettivamente per mezzo dei fili

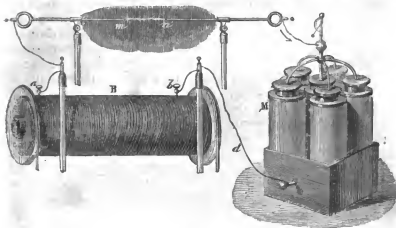



Fig. 580.

d ed *c'*, mentre questi stessi poli comunicano, per mezzo dei fili *e* e *c* con due aste orizzontali di un eccitatore universale (fig. 465). Caricandosi costantemente la bottiglia per mezzo dei fili *i*, *d*, ora in un verso ora in verso contrario, essa si scarica di mano in mano pei fili *e* e *c*, e la scarica avviene tra *m* ed *n* sotto forma di una scintilla della lunghezza di 6 centimetri, brillantissima e con rumore assordante, poichè queste scintille sono piuttosto paragonabili a colpi di fulmine che alle ordinarie della scarica d'una macchina elettrica.

Altrimenti si dispone l'esperimento per caricare la batteria: l'armatura esterna viene posta in comunicazione

con uno dei poli del rocchetto per mezzo del filo *d* (fig. 580), e l'interna coll'altro, per mezzo delle aste *m*, *n*, e del filo *c*. Le aste *m* ed *n* però non si trovano a contatto mutuo, perchè, se così fosse, le due correnti diretta ed inversa passando egualmente, il rocchetto non si caricherebbe; mentre, in causa dell'intervallo tra *m* ed *n*, passa soltanto la corrente diretta o di apertura, la quale ha maggiore tensione, e da essa viene caricata la batteria. Col rocchetto grande e con una corrente di 6 coppie di Bunsen una batteria di 6 giare di 30 decimetri quadrati di armatura si carica in un tempo inapprezzabile.

720. **Stratificazione della luce elettrica.** — Studiando la luce elettrica fornita dal rocchetto di induzione di Ruhmkorff, Quet ha osservato che se, prima di fare il vuoto nell'uovo elettrico (fig. 583), si introduce in esso del vapore di olio essenziale di trementina, o di acido acetico pirolegnoso, o di alcoole, o di solfuro di carbonio, ecc., la luce cangia affatto di aspetto ed apparisce sotto la forma di una serie di zone alternativamente brillanti ed oscure, che formano quasi una pila di luce elettrica tra i due poli (fig. 582).

Dalla discontinuità della corrente di induzione risulta che in quest'esperimento la luce non è continua, ma consiste in una serie di scariche tanto più ravvicinate quanto più rapidamente oscilla il martello *a* (fig. 575). Le zone appajono animate da un doppio movimento giratorio ed ondulatorio rapido. Quet riguarda questo movimento come una illusione di ottica, appoggiandosi al fatto che, facendo oscillare lentamente il martello colla mano, le zone appajono assai distinte e fisse; ma in tal caso il fenomeno è troppo istantaneo perchè si possano vedere le ondulazioni quand'anche avvenissero.

La luce del polo positivo è spesso rossa, quella del negativo violetta; ma il colore varia colla natura del vapore o del gas che trovasi nel globo.

Despretz osservò che i fenomeni constatati da Ruhmkorff e Quet con una corrente discontinua si producono anche per mezzo di una corrente ordinaria, ma con questa notabile differenza che la corrente continua richiede un numero ben grande di coppie di Bunsen, mentre la corrente discontinua del rocchetto di Ruhmkorff non ne richiede che poche. È pure notabile il fatto constatato dalla esperienza, che l'intensità degli effetti luminosi di questo rocchetto aumenta pochissimo col moltiplicare le coppie della pila.

Non si conosce ancora la teoria dei fenomeni della stratificazione della luce elettrica nei vapori, e della colorazione dei poli.

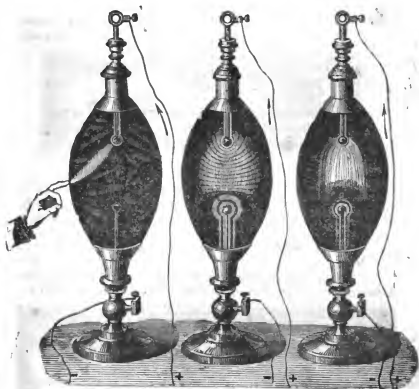



Fig. 581. *Fig.* 582. *Fig.* 583.

721. **Tubi di Geissler.** — La stratificazione della luce elettrica si presenta brillante e bellissima principalmente quando si fa passare la scarica del rocchetto di Ruhmkorff in tubi di vetro che contengono un vapore od un gas assai rarefatto. Questi fenomeni, che furono studiati da Masson, Grove, Gassiot, Plücker, ecc., si producono entro tubi di vetro o di cristallo chiusi, costruiti da Geissler a Bonn. Al momento di chiuderli, questi tubi sono stati posti nella condizione della camera barometrica, e, prima di passare alla saldatura, vi è stata introdotta una piccolissima quantità di un gas o di un vapore

in modo che la pressione da esso esercitata non giunga che a mezzo millimetro al più. Finalmente, alle due estremità del tubo sono saldati due fili di platino, che vi penetrano pel tratto di un centimetro o due.

Tosto che si fanno comunicare questi due fili di platino cogli estremi del rocchetto di Ruhmkorff, si producono in tutta la lunghezza del tubo delle bellissime stri-

Fig. 584.

scie brillanti, separate da zone oscure. Queste striscie variano di forma, di colore e di lucentezza secondo il grado di rarefazione, la natura del gas o del vapore e le dimensioni dei tubi. Spesso il fenomeno prende un più bell'aspetto per la fosforescenza che la scarica elettrica eccita nel vetro.

La figura 584 rappresenta le strisce date dall'idrogeno a mezzo millimetro di pressione in un tubo alternativa-

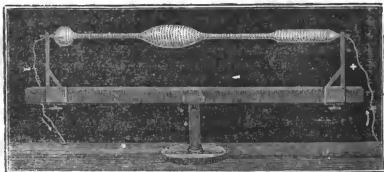



Fig. 585.

mente rigonfiato e stretto: nei rigonfiamenti la luce è bianca, e nelle parti capillari è rossa.

La figura 585 mostra le strisce nell'acido carbonico alla pressione di un quarto di millimetro: il colore è verdognolo e le striscie non hanno la stessa forma che nell'idrogeno. Nell'azoto la luce è giallo-rossiccia.

Plücker, il quale molto studiò la luce dei tubi di Geissler, trovò che essa non dipende per nulla dalla sostanza degli elettrodi, ma unicamente dalla natura del gas o del vapore che trovasi nel tubo. Egli riconobbe altresì che, adoperando l'idrogeno, l'azoto, l'acido carbonico, ecc., ed analizzando, col prisma, la luce ottenuta, si conseguiscono nei varii casi spettri assai differenti. Secondo lo stesso fisico, la scarica del rocchetto di induzione, la quale passa in un gas assai rarefatto, non si trasmetterebbe più nel vuoto assoluto, e la presenza di una sostanza ponderabile è assolutamente necessaria perchè avvenga il passaggio della elettricità.

Fig. 586.

Per mezzo di una elettro-calamita potente, Plücker sottopose la scarica elettrica entro i tubi di Geissler all'azione del magnetismo, come aveva fatto Davy coll'arco voltiano ordinario. Non potendo riferire tutte le esperienze curiose di questo scienziato, ricorderemo soltanto che nel caso in cui la scarica sia perpendicolare alla linea dei poli, questa scarica si separa in due parti distinte, il quale fenomeno potrebbe spiegarsi colla opposta azione dell'elettro-calamita sulle due estra-correnti di apertura e di chiusura, che si trovano nella scarica.

Da ultimo, citiamo una recente applicazione dei tubi di Geissler alla patologia. Saldato un lungo tubo capillare a due globetti muniti di fili di platino, si incurva questo tubo verso il mezzo in modo che i due rami si tocchino e si avvolgono le loro estremità a spire strette come in *a* (fig. 586). Preparato così il tubo che contenga un gas assai rarefatto, come quelli descritti precedentemente, appena che passa la scarica si produce in *a* una luce abbastanza viva per illuminare le fosse nasali, la gola o qualsiasi altra cavità del corpo umano in cui si introduca il tubo. Questo esperimento però richiede non solo l'uso di un rocchetto ma anche quello di una pila per farlo agire, per il che riesce alquanto incomodo per l'uso pratico in medicina.

722. **Rotazione delle correnti prodotte dalle calamite.** — De la Rive immaginò non ha guari un esperimento che dimostra in modo curioso l'azione rota-

toria delle calamite sulle correnti. Questo scienziato fece dapprima questo esperimento con una potente macchina elettrica; ma col rocchetto di Ruhmkorff se ne ottiene un più splendido effetto.

L'apparato di De la Rive è composto di un globo di vetro, ovvero uovo elettrico, munito di due robinetti ad una sua estremità, dei quali l' uno si avvita sulla macchina pneumatica, e l'altro, simile a quello di Gay-Lussac (313), serve ad introdurre nel globo alcune goccie di un liquido volatile. All'altra estremità del globo è unita con mastice una tubulatura entro la quale passa un' asta di

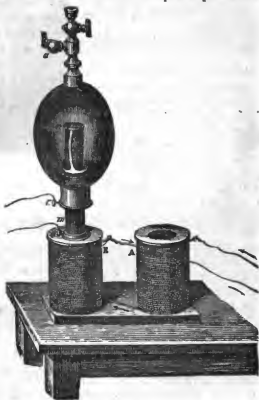



Fig. 587.

ferro dolce *mn* del diametro di 2 centimetri (fig. 587) e il cui estremo superiore giunge presso a poco al centro del globo. Quest' asta, in tutta la sua estensione, tranne le estremità, è coperta di un grosso strato isolante

formato di gomma lacca vestita di un tubo di vetro coperto esso pure di gomma lacca e di un secondo tubo di vetro, e, finalmente, di uno strato di cera ben compatta. Questo strato isolante deve avere almeno la grossezza di un centimetro. Nell'interno del globo lo strato isolante è è circondato in *x* da un anello di rame che, per mezzo di un filo, pure di rame, comunica con un bottone esterno *c*.

Si fa il vuoto quanto più perfetto si può nel globo, e vi si introducono alcune gocce di etere o di essenza di trementina per mezzo del robinetto *a*; poi si fa il vuoto di nuovo in modo che rimanga nel pallone solo un vapore assai rarefatto. Collocando allora sopra uno dei rami di una forte elettro-calamita AB un grosso disco di ferro dolce *o*, munito di un bottone, si applica su questo disco l'estremità *m* dell'asta *mn*, poi si fanno toccare i due capi del filo indotto del rocchetto di Ruhmkorff, l'uno col bottone *c*, l'altro col bottone *o*. Se allora si fa operare il rocchetto senza che funzioni l'elettro-calamita, trasmettendosi le elettricità contrarie dei due fili *v* ed *r*, la prima sino all'estremo superiore *n* dell'asta di ferro dolce, la seconda all'anello *x*, un'aureola luminosa più o meno irregolare apparisce entro il globo da *n* ad *x* all'intorno dell'asta, come nell'esperimento dell'uovo elettrico.

Ma facendo passare una corrente voltiana nell'elettro-calamita, tosto il fenomeno cambia: la luce, in luogo di partire dai varii punti del contorno superiore *n* e dell'anello *x*, si condensa e sgorga in un solo arco luminoso da *n* ad *x*. Inoltre (ciò che è particolarmente a notarsi in questo esperimento), quest'arco gira assai lentamente attorno al cilindro magnetizzato *mn*, ora in un verso ora in un altro secondo la direzione della corrente indotta, o secondo il verso in cui accade la magnetizzazione. Cessando la polarità magnetica, il fenomeno luminoso ritorna alla sua forma primitiva.

Circa questo esperimento è a notarsi il fatto importante che esso venne immaginato a priori da De la Rive per ispiegare, coll'influenza del magnetismo terrestre, una specie di moto rotatorio dall'ovest all'est passando pel sud, osservato nelle aurore boreali. Infatti, la rotazione dell'arco luminoso, nell'esperimento precedente, si collega col fenomeno della rotazione delle correnti per mezzo delle calamite (688).

723. **Razzo di Statcham.** — L'ingegnere inglese

Stateham trovò in questi ultimi tempi che, quando un filo di rame AB (fig. 588) è coperto di gutta perca solforata, in capo ad alcuni mesi, pel contatto del metallo col suo inviluppo, si forma uno strato di solfuro di rame, il quale basta per condurre la corrente. Infatti, se in una parte qualunque del circuito si taglia la metà superiore dell'inviluppo, indi si toglie ivi un pezzo di filo di rame della lunghezza di 6 millimetri, un'intensa corrente che passi pel filo di rame, quantunque trovi una interruzione tra *a* e *b*, pure passa pel solfuro di rame e lo fa entrare in ignizione. Ne segue che se nella cavità così formata si colloca un corpo facilmente infiammabile, come del

Fig. 588.

cotone fulminante o della polvere da schioppo, essa piglia fuoco, e di qui il nome di *razzo di Stateham* che si dà a questo piccolo apparato. Du-Moncel applicò recentemente con pieno successo questo razzo ed il rocchetto di Ruhmkorff all'espolsione delle mine nel porto di Cherbourg.

Se si vuole ottenere l'effetto di questo razzo con una sola coppia, questa dev'essere potente; e la corrente introdotta per A si fa ritornare alla pila per l'estremo B, ovvero si fa entrare nel suolo. Ma se, invece di usare la sola pila, si adopera il rocchetto di Ruhmkorff, basta a produrre l'effetto del razzo anche una sola coppia di Bunsen. Allora si fa entrare per A ed escire per B la corrente indotta. Così si viene a constatare un effetto calorifico delle correnti di induzione.

Faraday, che in questi ultimi tempi ha fatto dei curiosi esperimenti sui fili di rame coperti di gutta perca, trovò che gli effetti fisici e fisiologici di una corrente la quale passa in tali fili sono debolissimi, anzi insensibili quando i fili si trovano nell'aria, e che, al contrario, sono assai intensi quando i fili si trovano immersi nell'acqua o sepolti sotterra. Faraday, che fece i suoi esperimenti sopra

fili della lunghezza di 160 chilometri, spiega questo fenomeno paragonando il filo di rame coperto di gutta perca ad una bottiglia di Leyda grandissima; il filo di rame, caricato di elettricità per mezzo della pila o del rocchetto, agisce per influenza attraverso alla gutta perca sull'acqua o sul suolo, che formano, per così dire, l'armatura esterna della bottiglia, d'onde la accumulazione della elettricità e la energia degli effetti che in tal caso si ottengono.

724. **Caratteri delle correnti di induzione.** — Dai diversi esperimenti fin ora indicati sulle correnti di induzione risulta che, malgrado la loro istantaneità, esse possedono tutte le proprietà delle ordinarie correnti voltiane. Come queste, infatti, provocano violenti fenomeni fisiologici, producono effetti luminosi, calorifici, chimici, e danno origine a nuove correnti indotte. Finalmente, fanno ruotare l'ago dei galvanometri e magnetizzano le spranghe d'acciajo quando si facciano passare in un filo di rame avvolto ad elice intorno alle medesime.

L'intensità della scossa delle correnti indotte rende i loro effetti comparabili a quelli della elettricità allo stato di tensione. Nonpertanto, siccome agiscono sempre sul galvanometro, bisogna ammettere che nei fili sottoposti all'induzione sianvi simultaneamente elettricità di tensione e elettricità dinamica. Infatti, raccogliendo continuamente la corrente indotta nella stessa direzione, per mezzo di un commutatore, Masson pervenne a caricare il condensatore. Ma la probabilità di questa ipotesi si desume principalmente dagli effetti, che abbiamo detto ottenersi col rocchetto di Rohmkorff.

La corrente indotta diretta e la corrente indotta inversa furono paragonate fra loro sotto tre diversi punti di vista, cioè l'energia della scossa, l'ampiezza della deviazione nel galvanometro, e l'azione magnetizzante sulle spranghe d'acciajo. Considerate in tal modo queste correnti presentano risultati assai diversi; esse sembrano sensibilmente eguali quanto alla deviazione nel galvanometro, mentre poi la scossa della corrente diretta è fortissima, e quella della corrente inversa quasi nulla. La stessa differenza si riconosce quanto alla forza magnetizzante; la corrente diretta magnetizza a saturazione, ma la corrente inversa non magnetizza.

725. **Leggi delle correnti di induzione.** — Nel suo trattato speciale sull'induzione, Matteucci deduce dai

suoi proprj lavori e da quelli di Faraday, Lenz, Dove, Abria, Weber, Marianini e Felici le leggi seguenti sulle correnti di induzione:

1.ª *L'intensità delle correnti indotte è proporzionale a quella delle correnti induttrici.*

2.ª *Questa stessa intensità è proporzionale al prodotto delle lunghezze dei circuiti induttori ed indotti.*

3.ª *La forza elettro-motrice sviluppata da una data quantità di elettricità è la stessa qualunque sia la natura, la sezione e la forma del circuito.*

4.ª *La forza elettro-motrice, sviluppata dall'induzione di una corrente in un circuito conduttore qualunque, è indipendente dalla natura di questo conduttore.*

5.ª *Lo sviluppo dell'induzione è indipendente dalla natura del corpo isolante interposto fra i circuiti induttori e indotti.*

Quest'ultima legge, come abbiamo già notato, non si accorda cogli esperimenti di Faraday sull'induzione dell'elettricità statica (595).

726. **Direzione delle correnti indotte sui dischi giranti.** — Faraday, pel primo, ha cercato quale fosse la direzione delle correnti indotte sulla superficie dei dischi metallici giranti davanti ai poli contrarii di due forti calamite. Il suo processo consiste nel porre una delle estremità del filo del galvanometro in contatto coll'asse del disco girante, e l'altra con diversi punti della circonferenza del medesimo disco. Egli ha in tal modo constatato, per mezzo della deviazione dell'ago del galvanometro, che, durante la rotazione del disco, si producono alla sua superficie delle correnti indotte dirette dal centro alla circonferenza o dalla circonferenza al centro, secondo il verso della rotazione, e che le correnti sono simmetriche relativamente al diametro polare, a quel diametro cioè che passa sopra i poli delle calamite.

Nobili ed Antinori si sono occupati nel ricercare la direzione delle correnti indotte sui dischi giranti, e per ciò, ponendo una delle estremità del filo del galvanometro in contatto coll'asse del disco, facevano comunicare l'altra estremità non solo colla circonferenza del disco, ma anche coi diversi punti della sua superficie. Essi trovarono così che, quando le parti del disco entrano sotto l'influenza magnetica, si sviluppa costantemente un sistema di correnti contrarie a quelle della calamita, e che sulle parti che vengono tolte da questa influenza si producono correnti nel medesimo verso di quelle della calamita, e, per conseguenza, contrarie alle prime.

Matteucci, avendo studiati gli stessi fenomeni, ma con maggior precisione, li trovò più complicati che non si credesse.

La figura 589 rappresenta l'apparato che usò questo fisico. Esso si compone di una cassa di legno nella quale una serie di ruote dentate trasmettono, mediante una manovella M, un movimento di rotazione più o meno rapido ad un disco di metallo A di 20 centimetri di diametro. Sotto il disco, alla distanza di 2 o 3 millimetri, avvi una potente elettro-calamita *ab*, che si sposta in una scanalatura in modo da poter presentare successivamente

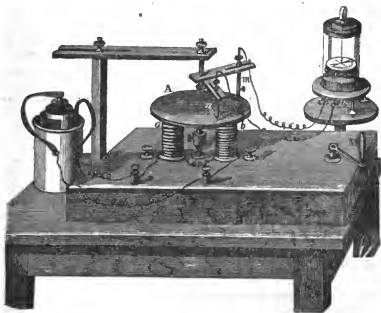



Fig. 589.

i suoi poli a tutti i punti di questo disco. Finalmente, sopra il disco vi sono due asticelle di rame *m* ed *n* terminate ciascuna da una punta non acuta ed amalgamata, che tocca il disco. Queste stesse asticelle, alla loro estremità superiore, comunicano coi due capi del filo di un galvanometro; di più, per la disposizione dei sostegni, ai quali esse sono fissate, possono occupare tutte le posizioni relativamente al centro ed alla circonferenza del disco.

Per mezzo di questo apparato, ponendo uno dei fili del galvanometro in contatto col centro, e l'altro coi varii punti della superficie del disco, Matteucci constatò i fatti seguenti rappresentanti nella figura 590, nella quale N ed S indicano le projezioni dei poli della elettro-calamita, ed AB la retta che passa sui poli medesimi. Ecco i fatti principali che Matteucci trovò col suo apparato.

1.° Esistono *linee di nessuna corrente a, b, c, d, e,* le quali sono normali alla retta AB e si piegano verso il

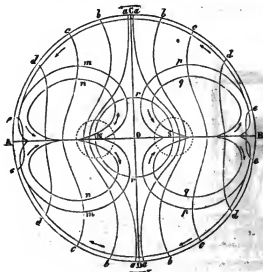



Fig. 590.

lembo del disco in modo di incontrarlo sempre in direzione normale.

2.° La projezione di ciascun polo dell' elettro-calamita sul disco è un *punto neutro*, ossia di nessuna corrente; inoltre una linea neutra *rr*, sensibilmente circolare, che passa per le projezioni dei due poli ed ha il centro nell'asse della elettro-calamita, è in pari tempo *linea d' inversione;* cioè le correnti al di dentro di questa linea hanno direzioni contrarie a quelle che trovansi al di fuori.

3.° Le *linee di correnti elettriche*, ossia quelle lungo le quali si hanno effetti massimi, incontrano sempre ortogonalmente le linee di corrente nulla e sono tangenti alla retta AB: nella figura queste linee di massima corrente sono rappresentate da *m, n, p, q*.

4.° La posizione della linea neutra *r* S *r* N, che passa per le projezioni dei due poli, non viene sensibilmente modificata nè dalla sostanza di cui si è fatto il disco, nè dalla sua grossezza, nè, finalmente, dall'intensità della corrente della pila, ma va restringendosi sempre più al crescere della velocità di rotazione.

5.° Finalmente, da ciascun lato dei punti neutri, sul diametro polare AB si trovano dei punti *massimi* la cui distanza dipende dalla grossezza dell'elettro-calamita, e dal diametro del disco girante.

Chi amasse maggiori particolari intorno a questi curiosi fenomeni ed alla rappresentazione delle diverse linee seguite dalle correnti ricorra al *Corso speciale sull'induzione ed il magnetismo di rotazione* pubblicato alla fine del 1854 da Matteucci.

727. **Calore sviluppato dall' induzione delle calamite potenti sui corpi in movimento.** — Parlando dell'esperimento di Arago (710), abbiamo indicato come un disco di rame, ruotando sopra sè stesso, agisca a distanza su di una calamita mobile per trasmetterle il proprio moto di rotazione. Si vedrà anche quanto prima (729) come reciprocamente un cubo di rame, animato da un movimento di rotazione rapida, venga ad un tratto arrestato dall'inflenza dei poli di due forti calamite (fig. 594). È evidente come in questi esperimenti, se si volesse impedire la rotazione dell'ago magnetico o far continuare quella del cubo, bisognerebbe impiegare continuamente un certo lavoro meccanico per vincere la resistenza risultante dall'azione induttrice delle calamite. Ora, fondandosi sulla teoria della trasformazione del lavoro meccanico in calore, della quale i fisici trovansi da qualche anno preoccupati (343), si è cercato quale sarebbe la quantità di calore sviluppato dalle correnti di induzione sotto l'influenza di potenti calamite. Joule, allo scopo di determinare l'equivalente meccanico del calore, dispose un rocchetto attorno ad un cilindro di ferro dolce, ed avendo chiuso il tutto in un tubo di vetro pieno di acqua, impresse al sistema un moto di rotazione rapido tra i due rami di una potente calamita temporaria. Un termometro collocato nel liquido serviva a misurare la quantità di calorico sviluppato dalle correnti di induzione nel ferro dolce e nel filo di rame avvolto sopra il medesimo.

Foucault fece recentemente, a questo scopo, un impor-

tante esperimento per mezzo dell'apparato rappresentato dalla figura 591. Questo apparato consiste in una potente calamita temporaria fissata orizzontalmente su di una tavola. Due pezzi di ferro dolce A e B sono in contatto coi poli dell'elettro-calamita in modo che, magnetizzandosi essi stessi per influenza, concentrano la loro azione magnetica induttrice sulle due facce del disco. Un disco di rame D, di 75 millimetri di diametro e di 7 millimetri di grossezza, entra in parte tra i pezzi A e B, ove riceve, per mezzo di un manubrio e di una serie di ruote e di rocchetti, una velocità di 150 o 200 giri ad ogni minuto secondo.

Ciò posto, finchè la corrente della pila non passa nel

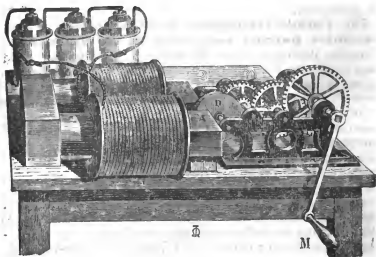



Fig. 591.

filo della elettro-calamita, non si incontra che una debolissima resistenza a far ruotare il manubrio; e se, quando esso abbia preso insieme colle ruote e col disco un rapido movimento di rotazione, lo si abbandona a sè stesso, la rotazione continua per un certo tempo in virtù della velocità acquistata. Ma, quando si faccia passar la corrente, il disco e gli altri pezzi si fermano quasi istantaneamente, e se allora si vuol far ruotare il manubrio si incontra una considerabile resistenza. Ora, se malgrado questa resistenza, si continua a far girare il manubrio, la forza che si consuma si trasforma in calore, e il disco si riscalda nota-

bilmente. In un esperimento eseguito da Foucault alla nostra presenza, essendo la corrente fornita soltanto da tre coppie della pila di Bunsen, la temperatura del disco si innalzò in 3 minuti da 10 gradi a 61. Con sei coppie la resistenza è tale che non si potrebbe a lungo far ruotare il manubrio.

CAPITOLO VII.

EFFETTI OTTICI DELLE CALAMITE POTENTI; DIAMAGNETISMO.

728. **Effetti ottici delle calamite potenti.** — Faraday, nel 1845, scoprì che una potente elettro-calamita esercita sopra parecchie sostanze trasparenti un'azione tale che, se un raggio polarizzato le attraversi nella direzione della linea dei poli magnetici, il piano di polarizzazione è deviato o a destra o a sinistra (530), secondo la disposizione dei poli magnetici.

La figura 592 rappresenta l'apparato di Faraday quale lo costruisce Ruhmkorff. Esso è formato di due elettro-calamite M ed N assai potenti fissate su due carri di ferro O, O', i quali possono essere avvicinati più o meno facendoli scorrere sopra un sostegno K. La corrente di una pila di 10 o 11 coppie di Bunsen entra in A, passa per un commutatore H, pel rocchetto M, poi pel rocchetto N e pel filo *g*; discende nel filo *i*, passa di nuovo nel commutatore, ed esce in B. I due cilindri di ferro dolce S e Q, il cui asse coincide con quello dei rocchetti, hanno dei fori cilindrici per lasciar passare i raggi luminosi. Finalmente, in *b* ed in *a* si trovano due prismi di Nicol (534 4.°), il primo dei quali serve di polarizzatore, l'altro di analizzatore. Per mezzo di una alidada si fa girare quest'ultimo attorno al centro di un circolo graduato P.

Ciò posto, quando si collochino i prismi in modo che le loro sezioni principali siano perpendicolari fra loro, il prisma *a* estingue compiutamente la luce trasmessa attraverso al prisma *b*. Allora ponendo in *c*, sull'asse dei due rocchetti, una piastra di flint o di vetro a facce parallele, la luce si spegne ancora fino a tanto che non passa la corrente; però, appena stabilite le comunicazioni, ricompare la luce, ma colorata, e, facendo ruotare l'analizzatore *a* a destra od a sinistra, secondo la direzione della corrente, si vede la luce assumere tutte le differenti tinte dello spettro, come avviene colle lamine di quarzo tagliate per-

pendicolarmente all'asse (537). Edmondo Becquerel fece vedere che moltissime sostanze solide e liquide possono deviare così il piano di polarizzazione sotto l'influenza di potenti calamite. Faraday ammette che in questi esperimenti la rotazione del piano di polarizzazione sia dovuta ad una

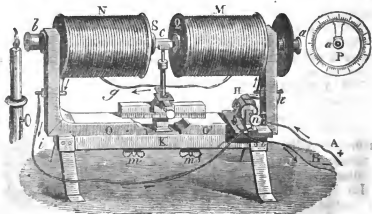



Fig. 592. (a = 43).

azione delle calamite sui raggi luminosi. Biot e Becquerel pensano, col maggior numero dei fisici, che questo fenomeno dipenda da una azione delle calamite sui corpi trasparenti assoggettati alla loro influenza.

729. **Effetti di diamagnetismo dovuti alle potenti calamite.** — Si è già veduto (557) che si chiamano *diamagnetici* certi corpi i quali sono respinti dalle calamite. Questa denominazione venne adottata da Faraday, il quale, pel primo, nel 1847, osservò questa sorta di fenomeni. Gli effetti diamagnetici delle calamite si manifestano soltanto quando esse siano assai potenti come quelle dell'apparato di Faraday (fig. 592), col quale furono scoperte e studiate. Si trovano corpi diamagnetici tanto fra i solidi, quanto fra i liquidi ed i gas, come mostrano i seguenti esperimenti, che si istituiscono fissando a vite sui rocchetti delle armature di ferro dolce S e Q di forme diverse.

1.ª *Diamagnetismo dei solidi.* — Un piccolo cubo di rame, sospeso tra le due calamite, per mezzo di un filo di seta torto, mentre gira rapidamente sopra sè stesso per effetto del distorcersi del filo (fig. 594), all'istante in cui passa

la corrente nei rocchetti fermasi nella posizione in cui si trova. Se il pezzo mobile ha la forma di una piccola spranga parallelepipeda, si dispone in direzione dell'asse dei rocchetti, ovvero in direzione perpendicolare al medesimo, secondo che è formato di una sostanza magnetica, come il ferro, il nichelio, il cobalto, ovvero di una sostanza diamagnetica, come il bismuto e l'antimonio.

2.ª *Diamagnetismo dei liquidi.* — Anche i liquidi presentano dei fenomeni di magnetismo e di diamagnetismo. Per osservarli si pone il liquido in un tubetto di vetro a pareti assai sottili, che si sospende al posto del cubo *m*

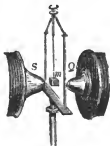
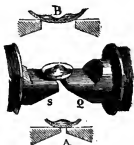



Fig. 593. *Fig.* 594. *Fig.* 595.

rappresentato nella figura 594. Se il liquido è magnetico, come una soluzione di un composto di ferro, o di nichelio, o di cobalto, il tubo si dirige secondo l'asse delle due elettro-calamite: ma se è diamagnetico, come l'acqua, l'alcoole, l'olio essenziale di trementina e la maggior parte delle soluzioni saline, il tubo si dispone in direzione perpendicolare all'asse delle calamite.

L'azione delle potenti calamite sui liquidi magnetici o diamagnetici si osserva anche per mezzo dell'esperimento seguente fatto per la prima volta da Plücber. Si versa una soluzione di cloruro di ferro in un vetro da orologio, che si colloca poi sulle due armature S e Q delle elettro-calamite dell'apparato di Faraday. Appena la corrente passa nelle elettro-calamite, si vede che la soluzione forma un rigonfiamento o due, secondo la distanza dei rocchetti, nel modo rappresentato in A e B dalla figura 595; questi rigonfiamenti durano finchè possa la corrente, e si possono ottenere in differente grado con tutti i liquidi magnetici. I liquidi diamagnetici presentano effetti opposti, come verificò Plücher col mercurio osservandone la cur-

vatura sopra un pezzo d'argento amalgamato di recente e collocato sulle armature.

3.ª *Diamagnetismo dei gas.* — Bancalari ha osservato, pel primo, che la fiamma di una candela collocata tra i due rocchetti dell'apparato di Faraday è respinta con violenza (fig. 593). Tutte le fiamme presentano, benchè in diverso grado, lo stesso fenomeno. Quet, esperimentando colla luce elettrica della pila, ottenuta coi due coni di carbone (fig. 495), conseguì degli effetti di ripulsione assai intensi.

Dopo gli esperimenti di Bancalari, Faraday e Edmondo Becquerel fecero molte ricerche sul diamagnetismo dei gas, come abbiamo gia indicato nel parlare dell'azione che le forti calamite esercitano su tutti i corpi (557). Inoltre Faraday riconobbe che l'ossigeno, il quale è magnetico alla temperatura ordinaria, diventa diamagnetico ad una temperatura elevatissima, e che spesso il magnetismo o il diamagnetismo di una sostanza dipende dal mezzo nel quale essa si trova. Così, per esempio, un corpo magnetico nel vuoto può diventare diamagnetico nell'aria.

4.ª *Detuonazione prodotta dalla interruzione della corrente sotto l'influenza di una potente elettro-calamita.* — Citeremo anche, siccome effetto notabile dell'apparato di Faraday, l'esperimento seguente dovuto a Ruhmkorff. Quando si collocano fra i due poli S e Q (figura 593) le due estremità del grosso filo nel quale passa la corrente dell'elettro-calamita, cioè quando si chiude la corrente fra i due poli S e Q, non si produce nè scintilla nè rumore, o tutt'al più un debole strepito ed una piccola scintilla. Ma, nell'istante in cui si separano le due estremità del filo, e quindi nell'istante in cui si interrompe la corrente, si ode una detuonazione forte quasi come quella di un colpo di pistola. Questo fenomeno sembrerebbe prodotto dall'estra-corrente (712), la cui intensità sarebbe notabilmente aumentata dall'influenza dei due poli dell'elettro-calamita.

730. **Teoria del diamagnetismo.** — Per ispiegare i fenomeni diamagnetici furono proposte diverse teorie. Si è già veduto (557) come Edmondo Becquerel ammetta che la ripulsione esercitata dalle calamite sopra certe sostanze provenga dall'essere queste cinte da un mezzo più magnetico di loro; la quale ipotesi sarebbe evidentemente una applicazione del principio di Archimede. Plücher diede una teoria, la quale, sebbene diversa da quella di

Edmondo Becquerel, è pur essa appoggiata al medesimo principio. Faraday collegò i fenomeni diamagnetici con quelli di induzione, ammettendo che quando si avvicina una forte calamita ad un corpo diamagnetico, come, per esempio, al bismuto, si producono delle correnti di induzione sulle quali reagiscono le correnti di Ampère. Allora trovandosi di fronte i poli dello stesso nome, avviene ripulsione come fra due solenoidi. Al contrario, nelle sostanze magnetiche si producono correnti dirette in modo che si trovano di fronte i poli di diverso nome, epperò avviene l'attrazione.

CAPITOLO VIII.

CORRENTI TERMO-ELETTRICHE.

731. **Esperimento di Seebeck.** — Finora non si è parlato che delle correnti elettriche sviluppate dalle azioni chimiche, le quali, per verità, sono la più energica sorgente di elettricità dinamica. Ma anche il calorico può dare origine a correnti, le quali, quantunque deboli, sono notabili per il legame che stabiliscono tra il calorico e la elettricità, come pure per l'applicazione che ne fu fatta nell'apparato di Melloni. Queste correnti ebbero il nome di correnti *termo-elettriche* per distinguerle dalle correnti dovute alle azioni chimiche, le quali si denotano col nome di correnti *idro-elettriche*.

Era già noto che parecchi cristalli naturali, per esempio, quelli di topazzo e di tormalina, acquistavano proprietà elettriche quando se ne innalzava la temperatura, e Volta aveva asserito che una lamina d'argento, scaldata inegualmente a' suoi due estremi, costituiva un elemento elettro-motore: ma Seebeck, professore a Berlino, fu il primo a mostrare, nel 1821, che il movimento del calorico in un circuito metallico poteva dare origine a correnti elettriche.

Queste correnti si possono constatare per mezzo del piccolo apparecchio rappresentato nella figura 596, il quale consiste in una lamina di rame *mn*, che alle estremità è ripiegata e saldata ad una piastra di bismuto *op*. Entro il circuito così formato trovasi un'ago magnetizzato *a* mobile sopra un perno verticale. Disposto questo apparecchio nel meridiano magnetico, si scalda leggiermente una delle saldature, come mostra la figura, ed allora l'ago, deviando, indica che si è prodotta nel rame una cor-

rente da n verso m, cioè dalla saldatura calda verso la fredda. Se, invece di scaldare la saldatura n, la si raffredda con ghiaccio, conservando l'altra alla sua temperatura primitiva, producesi ancora una corrente ma diretta in

Fig. 596.

verso contrario, cioè da m verso n, ed in ambedue i casi la corrente è tanto più energica quanto maggiore è la differenza di temperatura delle due saldature.

732. **Causa delle correnti termo-elettriche.** — Le correnti termo-elettriche non debbono essere attribuite al contatto, perchè possono svilupparsi anche nei circuiti formati di un solo metallo; non provengono neppure da azioni chimiche, perchè Becquerel ha verificato che si producono anche nel vuoto e nell'idrogeno. Osservando queste correnti con un galvanometro, il medesimo scenziato trovò che esse dipendono sempre dalla ineguale propagazione del calorico traverso alle diverse parti del circuito.

Per dimostrarlo, si prende un arco formato di due metalli e si uniscono le sue estremità coi capi del filo galvanometrico, o saldandole o ponendole semplicemente a contatto. Fino a tanto che i punti del circuito così formato si trovano tutti alla stessa temperatura, il galvanometro non indica veruna corrente; ma, scaldando una delle saldature, immediatamente la deviazione dell'ago del moltiplicatore indica il passaggio di una corrente.

Se tutte le parti del circuito sono omogenee, non si manifesta alcuna corrente quando si scalda uno qualunque de' suoi punti, perchè allora il calorico propagasi egualmente in tutte le direzioni. Così avviene, per esempio, quando si riuniscono i due capi del filo di rame del gal-

vanometro con un secondo filo identico. Ma se, dopo avere distrutta la omogeneità di quest'ultimo filo in uno dei suoi punti, col ritorcerlo parecchie volte sopra sè stesso od annodarlo, lo si scalda presso al nodo, l'ago indica colla sua deviazione una corrente, che va dal punto riscaldato verso quello in cui fu distrutta l'omogeneità. Scaldando il filo dall'altra banda, rispetto a questo punto, si produce una corrente, la quale, giusta questa legge, è diretta in verso contrario della prima.

733. **Facoltà termo-elettrica dei metalli.** — Si chiama *facoltà termo-elettrica* di un metallo l'intensità della corrente prodotta dalla propagazione del calorico in questo metallo. Per una stessa differenza di temperatura tra due punti vicini questa facoltà varia nei diversi metalli, e per uno stesso metallo cresce colla differenza di temperatura.

Formando dei circuiti con differenti metalli e scaldando una saldatura a 20°, mentre le altre erano costantemente a 0°, Becquerel potè disporre i metalli nella serie crescente delle loro facoltà termo-elettriche: bismuto, platino, argento, stagno, piombo, rame, oro, zinco, ferro, antimonio, ognuno dei quali è positivo con quelli che lo precedono e negativo coi seguenti.

734. **Teoria delle correnti termo-elettriche.** — Per ispiegare la produzione delle correnti per mezzo del calorico, Becquerel ammette che allorquando un circuito metallico è scaldato in una delle sue parti, il fluido naturale è decomposto in modo che, quando le molecole si scaldano, assumono l'elettricità positiva e respingono la negativa. In seguito, le molecole vicine, scaldandosi alla loro volta, si elettrizzano positivamente, cedendo la loro elettricità negativa alle prime, e così successivamente di mano in mano che il calorico si propaga nel circuito; di maniera che si produce una corrente di elettricità negativa in verso contrario.

Siccome il calorico si propaga egualmente in tutti i versi in un circuito omogeneo, la parte scaldata dà ivi origine a due correnti contrarie ed egualmente intense, il cui effetto sull'ago del galvanometro è nullo. Ma se il circuito non è omogeneo, la conduttività calorifica non essendo più la stessa in tutti i versi e scaldandosi il circuito più in un verso che nell'altro, si producono due correnti contrarie di intensità diseguali, in modo che l'intensità della corrente osservata è in questo caso eguale alla differenza

tra le intensità di queste due correnti contrarie. Adunque la corrente che si ottiene è tanto più intensa quanto maggiore è la differenza delle facoltà termo-elettriche dei due metalli. Rispetto alla direzione di queste correnti, risulta dalla precedente teoria che il polo positivo corrisponde al metallo dotato della maggiore facoltà termo-elettrica, ed il polo negativo all'altro.

735. **Proprietà delle correnti termo-elettriche.** — Le correnti termo-elettriche si distinguono dalle idro-elettriche perchè, mentre sono trasmesse come queste ultime dai metalli, non possono attraversare i liquidi, od almeno li attraversano assai difficilmente. Però, una tale differenza non dipende dalla natura di queste correnti, ma soltanto dall'essere la loro tensione molto più debole di quella delle correnti idro-elettriche. Di fatti, per mezzo del galvanometro differenziale, Pouillet verificò che la tensione della corrente termo-elettrica sviluppata da una coppia di bismuto ed antimonio, le cui saldature erano mantenute ad una differenza di temperatura di 100°, è centomila volte minore di quella di una corrente idro-elettrica di una pila a truogoli ordinaria di 12 coppie.

Le correnti termo-elettriche, non essendo trasmesse dai liquidi a motivo della debolezza di loro tensione, non producono, in generale, verun effetto chimico. Però, Botto, a Torino, riunendo 150 coppie termo-elettriche di platino e ferro, potè ottenere delle tracce di decomposizione dei liquidi.

Le correnti termo-elettrriche, del pari che le idro-elettriche, hanno un'azione direttrice sull'ago magnetizzato; ma siccome, a motivo della loro debole tensione, si affievoliscono rapidamente quando cresce la lunghezza del circuito che attraversano, si deve evitare di farle passare per lunghi fili quando si introducono nel circuito del galvanometro. Per ciò, in questo caso, si forma il circuito con un filo grosso e corto, mentre nei galvanometri destinati alle correnti idro-elettriche il filo è sottile e lungo.

736. **Pila termo-elettrica di Nobili.** — Si chiamano *pile termo-elettriche* degli apparecchi destinati ad accumulare le tensioni termo-elettriche prodotte in un circuito composto di parecchi metalli quando si scaldano le saldature alternativamente una sì e l'altrno no, conservando le altre ad una temperatura costante.

La prima pila di questo genere, costrutta da OErstedt e Fourier, era composta di una serie di piccole aste di

bismuto e di antimonio, saldate le une in seguito alle altre in linea retta o ad arco di cerchio. Le aste di bismuto erano terminate alternativamente, una sì e l'altra no, da un gomito che si immergeva nel ghiaccio a 0°, mentre le altre saldature erano portate ad una temperatura di 200° o 300° per mezzo di piccole lampade.

Nobili modificò la forma della pila termo-elettrica nell'intento di raccogliere un considerabile numero di coppie

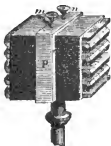



Fig. 597. *Fig.* 598.

sotto piccolo volume. Per ciò, riunì le coppie di bismuto e di antimonio in modo che, dopo avere formato una fila di coppie, come mostra la figura 598, l'asta di bismuto *b* si saldasse lateralmente coll'antimonio di una seconda fila simile, indi l'ultimo bismuto di questa coll'antimonio di una terza, e così di seguito fino a disporre quattro file verticali contenenti complessivamente venti coppie, le quali cominciano con un antimonio e finiscono con un bismuto. Queste coppie sono poi isolate le une dalle altre per mezzo di listerelle di carta coperte di vernice, indi chiuse in un astuccio di ottone P (fig. 597), in modo che rimangono libere le sole saldature alle due estremità della pila. Due bottoni di rame *m* ed *n*, isolati in un anello d'avorio, comunicano internamente, l'uno col primo antimonio, l'altro coll'ultimo bismuto; il primo rappresenta il polo positivo e l'altro il negativo. Quando si vuole osservare la corrente termo-elettrica, si pongono questi bottoni in contatto colle estremità del filo di un galvanometro.

737. **Termo-moltiplicatore di Melloni.** — La pila termo-elettrica, costrutta come rappresenta la figura 597 e combinata col galvanometro, divenne, per opera di Melloni, l'apparato termo-elettrico il più sensibile che si conosca. Questo scienziato, che diede a così fatto strumento il

nome di *termo-moltiplicatore,* lo dispose come mostra la figura 599.

Sopra una tavoletta di legno sostenuta da quattro viti di livello è fissato longitudinalmente un regolo di ottone lungo un metro e diviso in centimetri. Su questo regolo si fermano a distanze variabili, per mezzo di viti di pressione, i diversi pezzi di cui è composto l'apparato, cioè: un sostegno *a*, sul quale si adatta una lampada di Locatelli o qualsiasi altra sorgente di calore, poi dei diaframmi F ed E, un secondo sostegno C, dove si collocano i corpi sui quali si esperimenta, e, finalmente, la pila termo-

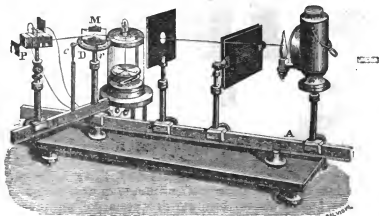



Fig. 599.

elettrica *n*. Vicino all'apparato trovasi un galvanometro D munito di filo grosso e corto, il quale comunica in A e B coi poli della pila. La sensibilità di questo strumento è tale che il calore della mano, alla distanza di un metro, può sviluppare nella pila una corrente bastante a deviare l'ago del galvanometro. Si fecero già conoscere e la graduazione di questo strumento (673) e le importanti applicazioni che Melloni fece del medesimo allo studio del potere diatermico dei corpi (366 al 376) ed alla polarizzazione del calorico (548).

Per far servire il termo-moltiplicatore alla misura delle temperature, si deve innanzi tutto determinare la relazione che sussiste tra la deviazione dell'ago, e quindi l'intensità della corrente, e la differenza di temperatura delle saldature. In seguito, quando sia conosciuta la temperatura delle saldature non esposte alla sorgente di calore, la deviazione

dà quella delle altre saldature, e, per conseguenza, la temperatura della sorgente.

CAPITOLO IX.

INTENSITA', CONDUTTIVITA' E VELOCITA' DELLE CORRENTI; TRASPORTI, CORRENTI DERIVATE.

738. **Reostato.** — Il reostato serve ad aumentare o a diminuire la lunghezza del circuito percorso da una corrente, in modo di farle produrre sul galvanometro una deviazione determinata. Quest'apparato, dovuto a Wheatstone, risulta di due cilindri paralleli, uno A di ottone, l'altro B di legno (fig. 600). Quest'ultimo ha in tutta la

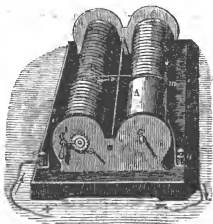



Fig. 600.

sua lunghezza una scanalatura ad elice, e termina alle estremità *a* con un anello di ottone, al quale è fissato uno dei capi di un filo sottile della stessa sostanza, lungo 40 metri. Questo filo segue la scanalatura per un tratto più o meno lungo, passa sul cilindro A, vi si avvolge replicatamente, indi va a fissarsi alla estremità *e* del medesimo. Finalmente, due viti di pressione *n* ed *o*, le quali tengono fissi i conduttori della corrente che vuolsi esaminare, comunicano, per mezzo di due lamine di acciajo, una col cilindro di ottone A, l'altra coll' anello *a*.

Quando una corrente entra in *o*, essa attraversa soltanto la parte del filo avvolto sul cilindro B, ove le spire sono

isolate per mezzo della scanalatura; ma, giunta sul cilindro A, che è metallico ed in contatto col filo, passa direttamente da *m* in *n*. Per conseguenza, ove vogliasi aumentare la lunghezza del circuito, basta girare la manovella *d* da destra a sinistra. Invece, se vuolsi diminuirla, si colloca la manovella sull'asse *c*, e, ruotando allora da sinistra a destra, si avvolge il filo sul cilindro A. Perciò, si può in questo modo diminuire od aumentare ad arbitrio l'intensità della corrente perchè, come si vedrà più innanzi (740), questa intensità è in ragione inversa della lunghezza del circuito. Questa lunghezza poi è determinata in metri ed in centimetri per mezzo di due indici posti all'estremità dell'apparato non visibile nella figura, e messi in moto dai cilindri A e B quando questi girano insieme.

739. **Bussola dei seni.** — La *bussola dei seni* è un

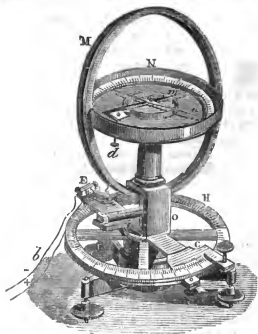



Fig. 601.

galvanometro destinato a misurare l'intensità delle correnti, nell'uso del quale però non è d'uopo ricorrere ad una tavola di graduazione (673). Questo apparato, dovuto

a Pouillet, differisce dal galvanometro già descritto, per ciò che il filo di rame, nel quale passa la corrente, fa soltanto pochissimi giri, e qualche volta anche uno solo, intorno all'ago magnetizzato. Al centro di un cerchio orizzontale N (fig. 601) trovasi un'ago magnetizzato *m*; un altro ago *n* di rame inargentato e mobile insieme coll'*m*, al quale è collegato, serve a far conoscere la posizione dell'ago *n* sul cerchio graduato N. Perpendicolarmente al cerchio orizzontale trovasi disposto un anello di rame M, sul quale si avvolge il filo di rame che trasmette la corrente. I due capi di questo filo, rappresentati in *i*, terminano ad un pezzo E, dove mettono pure capo due fili di rame *a* e *b* comunicanti colla sorgente elettrica di cui si vuole misurare la corrente. Finalmente, il cerchio N e con esso l'anello M sono sostenuti da un piede O, il quale può ruotare intorno ad un asse verticale, che passa pel centro di un cerchio orizzontale fisso H. Per farlo ruotare serve il pezzo C fissato al piede ed unito ad un bottone A, che si fa girare a mano.

Dopo che il circuito galvanometrico M è stato diretto nel meridiano magnetico, e quindi nello stesso piano dell'ago, si fa passare la corrente nei fili *a* e *b*. Quando l'ago è deviato, si fa ruotare il circuito M fino a porlo nel piano verticale che passa per l'ago magnetizzato *m*. Allora l'azione direttrice della corrente è applicata perpendicolarmente alla direzione dell'ago magnetizzato, e il calcolo dimostra che la intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione dell'ago, il quale angolo si misura sul cerchio H, servendosi anche di un verniero segnato sul pezzo C. Si è appunto questo pezzo, il quale, fissato, al piede O, serve a farlo girare per mezzo di un bottone A con cui è unito. Così, conosciuto l'angolo di deviazione, e quindi il suo seno, se ne deduce l'intensità della corrente, poichè, come abbiamo ora detto, questa intensità è proporzionale al seno di questo angolo.

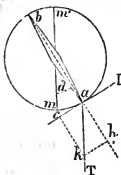



Fig. 602.

Per dimostrare che l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, rappresenti *mm'* (fig. 602) la direzione dell'ago ma-

gnetico; si chiami d l'angolo di deviazione, I l'intensità della corrente, e T la forza direttrice della terra. Rappresentando con ak la direzione e l'intensità di quest'ultima forza, si possono sostituire ad essa le due componenti ah ed ac (29). Ora, siccome la prima non ha alcuna azione direttrice sull'ago, la sola componente ac fa equilibrio alla forza I; bisogna dunque che sia $I = ac$. Ma il triangolo rettangolo ack dà $ac = ak \cos cak$, ovvero $ac = T \operatorname{sen} d$, perchè l'angolo cak è complemento dell'angolo d, ed ak è eguale a T. Dunque si ha finalmente $I = T \operatorname{sen} d$, come dovevasi dimostrare.

Si costrusse anche una specie di reometro conosciuto sotto il nome di *bussola delle tangenti*, perchè l'intensità della corrente è proporzionale alla tangente dell'angolo di deviazione.

740. Leggi di Ohm sulla intensità delle correnti. — Si chiamano *correnti di eguale intensità* quelle, che, nelle stesse condizioni, producono la stessa deviazione sopra un medesimo ago magnetizzato. Molti fisici, e specialmente Ohm, Pouillet, Faraday, Fechner e De la Rive, cercarono di paragonare, quanto alla loro intensità, le correnti elettriche che provengono da diverse sorgenti. Queste ricerche, le quali furono fatte col galvanometro, colla bussola dei seni e col reostato, condussero alle stesse leggi per le correnti termo-elettriche e per le idro-elettriche. Solchè, per le prime non si tien calcolo dell'influenza della pila, perchè, essendo questa metallica e di piccole dimensioni, la sua resistenza è trascurabile; ma per le correnti idro-elettriche la cosa va diversamente. In questo caso, per tener conto della resistenza della pila, bisogna aggiungere, come mostrò Pouillet, alla lunghezza del filo interpolare la lunghezza del filo che colla sua resistenza produrrebbe sulla corrente la stessa diminuzione di intensità cagionata dalla resistenza propria della pila. Così si ottiene un circuito interamente metallico equivalente al circuito primitivo, e che fu denominato da Pouillet *circuito ridotto*.

Ciò posto, ecco le diverse leggi che presentano le correnti elettriche, qualunque sia la sorgente da cui provengono.

1.ª *L'intensità di una corrente è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici che sono in attività nel circuito* (intendendo qui per forza elettro-motrice la causa qualsiasi che produce uno sviluppo di elettricità dinamica).

2.ª *L'intensità è la stessa in tutti i punti del circuito;*

3.ª *Essa è in ragione inversa della lunghezza* ridotta *di tutte le parti del circuito;*

4.ª *È in ragione diretta della sezione e della conduttività del filo che trasmette la corrente.*

Da queste ultime due leggi risulta che l'intensità resta costante quando la sezione del filo varia proporzionalmente alla sua lunghezza.

Pouillet trovò che nei liquidi, come nei solidi, l'intensità della corrente è in ragione diretta della sezione della colonna liquida attraversata dalla corrente, ed in ragione inversa della sua lunghezza, purchè quest'ultima sia eguale almeno a cinque o sei volte il diametro.

Le leggi precedenti sono conosciute sotto il nome di *leggi di Ohm* perchè questo scienziato, pel primo, le fece conoscere or sono trent'anni. Queste leggi furono trovate per mezzo di considerazioni teoriche, ma Lenz, Jacobi, indi Pouillet le verificarono coll'esperienza.

Rappresentando con E la somma totale delle forze elettro-motrici in attività nella pila, con R la somma totale delle resistenze che incontra l'elettricità alla sua propagazione, e con I l'intensità della corrente, Ohm giunse all'equazione $I = \frac{E}{R}$.

Quest'equazione, che comprende la prima e la terza delle leggi precedenti, è generale e vale pei circuiti omogenei o non omogenei.

Se si rappresenta con L la lunghezza del filo metallico interpolare, con r la lunghezza del filo che rappresenta la resistenza della pila, ossia la *lunghezza ridotta* della medesima, la formola precedente diventa $I = \frac{E}{L \times r}$.

Nelle pile termo-elettriche, nelle quali si può trascurare la resistenza della pila, perchè tutti i pezzi sono metallici e di piccolissima lunghezza, la formola si riduce alla $I = \frac{E}{L}$, cioè l'intensità della corrente è semplicemente in ragione inversa della lunghezza del filo congiuntivo.

Nel caso di n coppie eguali, collegate in batteria, chiamando E la forza elettro-motrice di una sola coppia, ed r la sua resistenza, Ohm ammette che si ha $I = \frac{nE}{L + nr}$; la quale formola può anche scriversi $I = \frac{E}{\frac{L}{n} + r}$.

Se il numero delle coppie è assai grande ed L è assai piccolo, si può tra-

scurare la frazione $\frac{L}{n}$, e la formola si riduce alla $I = \frac{E}{r}$, cioè l'intensità è in tal caso eguale a quella di una sola coppia.

741. **Conduttività per le correnti idro-elettriche.** — La facoltà conduttrice dei corpi, per le correnti idro-elettriche, varia a seconda della energia delle correnti medesime e dei diversi conduttori che esse hanno di già attraversati. Di fatti, De la Rive riconobbe che le correnti attraversano tanto più facilmente le lamine metalliche e liquide, quanto maggiore è il numero di quelle che hanno già attraversate; questa proprietà è analoga a quella che si osserva nelle facoltà diatermiche (372).

Davy trovò, per mezzo del voltametro (660), che la conduttività di uno stesso metallo è proporzionale alla sezione del filo, ed in ragione inversa della sua lunghezza. Becquerel verificò l'esattezza di questa legge con un galvanometro a due fili. Riguardo alla conduttività elettrica dei diversi metalli, Edmondo Becquerel ha trovato che a 0^0 le facoltà conduttrici relative dei metalli possono essere rappresentate dai numeri seguenti: argento ricotto, 100; rame ricotto, 91,5, oro ricotto, 64,9; zinco, 24; stagno 14; ferro, 12,3; piombo 8,9; platino, 7,9; mercurio, 1,739.

Paragonando fra loro le facoltà conduttrici dei diversi liquidi e prendendo per unità quella dell'acqua distillata, Pouillet giunse ai seguenti risultati: acqua contenente $^1/_{20000}$ d'acido azotico, 6; acqua satura di solfato di zinco, 167; acqua satura di solfato di rame, 400. La conduttività dei liquidi è immensamente minore di quella dei metalli, perchè, secondo lo stesso scienziato, la conduttività del rame è 16 milioni di volte maggiore di quella della soluzione satura di solfato di rame, e quindi 6 miliardi e quattrocento milioni di volte maggiore di quella dell'acqua distillata.

Finalmente, si osservò che l'innalzamento di temperatura aumenta la facoltà conduttrice dei liquidi e diminuisce quella dei solidi.

La conduttività dei liquidi composti fu considerata finora dal maggior numero dei fisici soltanto come una conduttività *elettrolitica*, cioè dovuta alla decomposizione chimica (659). Però, Faraday, esponendo la sua legge generale delle decomposizioni elettrolitiche (661), aveva anche aggiunto che si dovrebbero fare delle restrizioni pel

caso in cui i liquidi fossero capaci di trasmettere l'elettricità senza subire decomposizioni.

La conduttività meramente elettrolitica è stata sostenuta specialmente da Buff; ma Leone Foucault ha di recente dimostrato con delicati esperimenti che i liquidi possedono anche una conduttività propria, o *conduttività fisica* del genere di quella dei metalli; essa però è molto minore della conduttività elettrolitica, sebbene possa avere influenza sensibile sugli effetti chimici delle correnti e sulla legge di Faraday.

742. **Velocità della elettricità.** — Si fecero numerosi tentativi per misurare le velocità di propagazione della elettricità nei fili metallici. Nel 1834 Wheatstone adoperò uno specchio girante simile a quello che abbiamo descritto parlando della velocità della luce (fig. 260 pag. 417). Dal ritardo che subiva, in un tempo dato, l'immagine della scintilla prodotta dalla scarica di una bottiglia di Leyda trasmessa per un lungo filo, Wheatstone dedusse che l'elettricità, in un filo di ottone di 2 millimetri di diametro, si propagava con una velocità di 460000 chilometri per secondo, velocità che corrisponde ad una volta e mezzo quella della luce. Walker, in America, avendo fatto, nel 1849, delle ricerche intorno allo stesso argomento, per mezzo di segnali trasmessi dai fili di telegrafi elettrici, trovò che la velocità della elettricità era di 30000 chilometri per secondo, numero 15 volte più piccolo del precedente.

Nel 1850, Fizeau e Gounelle, esperimentando sopra fili telegrafici da Parigi ad Amiens ed a Rouen, arrivarono ai seguenti risultati:

1.° In un filo di ferro, il cui diametro sia di 4 millimetri e mezzo, la elettricità si propaga con una velocità di 101700 chilometri per secondo;

2.° In un filo di rame del diametro di 2 millimetri e mezzo la velocità è di 177700 chilometri;

3.° Le due elettricità si propagano colla stessa velocità;

4.° Il numero e la natura degli elementi di cui risulta la pila, e quindi la tensione della elettricità e l'intensità della corrente, non hanno influenza sulla velocità di propagazione;

5.° Nei conduttori di natura diversa, le velocità non sono proporzionali alle conduttività elettriche.

Negli esperimenti eseguiti con fili di rame fra gli os-

servatorii di Greenwiche e di Edimburgo si trovò che la velocità della elettricità è di 122000 chilometri; e fra gli osservatorii di Greenwich e di Bruxelles, per mezzo di un filo sottomarino, si trovò soltanto di 4300 chilometri. Ma, in quest'ultimo caso, il filo di rame, coperto di gutta perca, era in gran parte immerso nel mare. Faraday fece conoscere che questa grandissima differenza è prodotta dall'influenza che il filo esercita a traverso la gutta perca sul liquido nel quale trovasi immerso (723). Sembra adunque che la velocità della elettricità nei fili metallici sia rappresentata abbastanza esattamente dalle cifre di Fizeau e Gounelle.

743. **Correnti derivate, legge della derivazione.** — Si supponga che la corrente di una pila, per esempio di una coppia di Bunsen, percorra un filo di rame *rqpnm* (fig. 603), e si consideri il caso in cui si riuniscano due punti *n* e *q* quali si vogliono di questo cir-

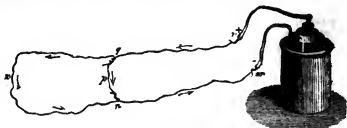



Fig. 603.

cuito per mezzo di un altro filo *nxq*. Allora la corrente della pila, biforcandosi nel punto *q*, si divide in altre due, una delle quali continua a propagarsi nel verso *qpnm*, mentre l'altra prende la direzione *qxnm*.

I punti *q* ed *n*, ove gli estremi del secondo conduttore si congiungono col primo, diconsi *punti di derivazione*; l'intervallo *qpn*, che li separa, chiamasi *distanza di derivazione*, ed il filo *qxn filo di derivazione*. La corrente, che percorre il filo *qxn*, dicesi *corrente derivata;* quella che percorreva il circuito *rqpmn* è la *corrente primitiva*, e quella che passa per lo stesso conduttore dopo la derivazione è la *corrente parziale*. Da ultimo dicesi *corrente principale* la nuova corrente che percorre complessivamente il circuito quando è stato aggiunto il filo di derivazione.

Pouillet, il quale fece numerose ricerche sulle correnti

derivate, giunse a dimostrare che *l'intensità della corrente derivata è in ragione diretta della intensità della corrente primitiva e della distanza di derivazione, ed è in ragione inversa sì della sezione del filo di derivazione, come della conduttività del medesimo filo.*

CAPITOLO X.

ELETTRICITA' ANIMALE, APPLICAZIONI DELL' ELETTRICITA' ALLA TERAPEUTICA.

744. Corrente propria degli animali. — Abbiamo già veduto come l'elettricità animale sia stata un soggetto di vive discussioni tra i fisiologi e i fisici (628 e 629). Dopo le esperienze di Galvani si fecero numerose ricerche su questo argomento, principalmente da Aldini, Humboldt, Lehot, Nobili, Marianini e Matteucci.

Nobili, pel primo, col mezzo del galvanometro, osservò nelle rane preparate come quelle di Galvani (fig. 478) una corrente, che egli chiamò corrente propria della rana. A questo intento egli immergeva le estremità addominali di una rana in una capsula piena d'acqua salata, indi i nervi lombari in una seconda capsula piena di un'altra simile soluzione e chiudeva il circuito immergendo in ciascuna delle capsule uno dei capi del filo di un galvanometro assai sensibile. Così otteneva una deviazione da 10 a 30 gradi, che segnava una corrente diretta dai piedi alla testa dell'animale.

Matteucci ottenne analoghi effetti formando delle pile di cosce di rane. Per ciò pigliava le metà inferiori delle cosce delle rane spogliate della pelle, e, lasciando intatto il nervo crurale, le disponeva l'una in seguito all'altra, di modo che il nervo di ciascuna si applicasse sui muscoli della seguente. Chiudendo indi il circuito col filo di un galvanometro, con otto di questi pezzi di coscia ottenne una deviazione di 12 gradi.

Lo stesso fisico formò anche delle pile di cosce di rana prive di nervo crurale, facendo comunicare l'interno del muscolo di ogni coscia colla superficie della coscia seguente. Nei muscoli degli animali vivi od appena uccisi, quando il circuito è chiuso, osservò sempre una corrente diretta dall'interno del muscolo alla superficie del medesimo. Matteucci denota questa corrente col nome di *corrente muscolare* e la distingue dalla *corrente propria* della rana. In questo animale egli constatò sempre ambedue queste correnti, mentre negli altri non trovò che la corrente muscolare.

Du Bois Reymond pubblicò ultimamente nuove ricerche sulle correnti muscolari nell'uomo. Per eseguire queste esperienze si dovette usare un galvanometro a ventiquattro mila giri, a motivo della grande resistenza del corpo umano. Du Bois-Reymond riconobbe che, facendo comunicare i due capi del filo galvanometrico con due punti simmetrici del corpo, per

esempio, colle due mani o coi due piedi, il galvanometro dà sulle prime delle indicazioni molto irregolari; ma che poi si produce una corrente la cui direzione rimane costante quando si ripeta l'esperimento parecchie volte, anche ad intervalli di tempo lontani. Questa corrente non ha la stessa intensità nei differenti individui e può anche cangiare direzione in uno stesso individuo, ma soltanto ad epoche molto lontane, perchè talvolta conserva una direzione costante per parecchi mesi.

745. Pesci elettrici. — Chiamansi *pesci elettrici* dei pesci forniti della singolare proprietà di produrre, quando siano irritati, delle scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda negli animali con cui si pongono in comunicazione. Si conoscono parecchie specie di pesci elettrici, tra i quali i più comuni sono la torpedine, il gimnoto ed il siluro. La torpedine, comunissima nel Mediterraneo, è stata studiata con tutta diligenza da Becquerel e Breschet, in Francia, e da Matteucci, in Italia. Il gimnoto fu studiato da Humboldt e Bompland, nell'America del sud, e da Faraday, che se ne procurò di vivi in Inghilterra.

I pesci elettrici servonsi della scossa come di arma offensiva e difensiva; questa scossa è determinata dalla loro volontà, ma si indebolisce gradatamente quando venga ripetuta, perchè questi animali perdono ben presto della loro vitalità in causa dell' esaurimento che produce nei medesimi la scarica elettrica.

Questa scossa è assai violenta. Secondo Faraday, la scossa data dal gimnoto equivale a quella di una batteria elettrica di 15 bottiglie (715) la superficie delle cui armature fosse di 2 metri quadrati ed un quarto, il che spiega come i cavalli soccombano qualche volta sotto le scariche reiterate dei gimnoti.

Parecchi esperimenti provano che queste scosse sono prodotte dalla elettricità ordinaria. Di fatti, se, mentre si tiene una mano a contatto colla parte superiore dell'animale, si tocca il ventre coll'altra mano o con un'asta metallica, si prova una violenta scossa nelle mani e nelle braccia; mentre non si sente alcuna scossa sostituendo all'asta metallica un corpo isolante. Inoltre, facendo comunicare uno dei capi del filo del galvanometro col dorso dell' animale e l' altro capo col ventre, a ciascuna scarica l' ago è deviato e poi ritorna immediatamente allo zero, il che mostra la produzione di una corrente istantanea: di più, si riconosce in questo esperimento che la corrente va dal dorso al ventre del pesce. Finalmente, se si fa passare la corrente di una torpedine in un' elice, al centro della quale troviasi una piccola verga d' acciajo (fig. 510), questa rimane magnetizzata dal passaggio della scarica.

Per mezzo del galvanometro, Matteucci constatò i seguenti fatti:

1.° Quando una torpedine è vivace può dare la scossa con un punto qualunque del suo corpo; a misura che la sua vitalità si esaurisce, i punti coi quali può dare la scossa si avvicinano sempre più all' organo che serve di sede allo sviluppo di elettricità;

2.° Un punto qualunque del dorso è sempre positivo relativamente al punto corrispondente del ventre;

3.° Di due punti del dorso inegualmente distanti dall' organo elettrico, il più vicino fa sempre l' ufficio di polo positivo, e il più lontano quello di polo negativo. Avviene l'opposto per i punti del ventre.

L'organo in cui si produce l' elettricità nella torpedine è doppio e formato di due parti simmetriche situate ai lati del capo e che si attaccano alle ossa del cranio colla loro faccia interna Queste due parti si riuniscono fra loro al davanti delle ossa nasali, ma sono separate dalla pelle mediante una robusta aponeurosi. Secondo Matteucci, ciascuno di questi organi risulta di un numero considerabile di piccole masse prismatiche collocate le une accanto alle altre, e che vanno dalla faccia esterna alla interna in modo che la loro sezione perpendicolare agli spigoli dei prismi offre l' aspetto delle cellette di un favo d' alveare. Questi prismi, perpendicolarmente ai loro spigoli, sono divisi da diaframmi che formano una serie di vescichette identiche fra loro e piene di nove parti di acqua, di una parte di albumina e di una piccola quantità di sal comune.

Matteucci, fondandosi sull' esperimento seguente, considera ciascuna di queste vescichette siccome l'organo elementare dell'apparato elettrico. Egli esporta dall' apparato di una torpedine viva una massa di queste vescicole del volume della capocchia di un grosso spillo, e la pone a contatto coi nervi di una rana morta preparata alla maniera seguita da Galvani, indi osserva che quando si eccita questa massa vescicolare, stuzzicandola con un corpo aguzzo, si manifestano delle contrazioni nella rana.

Matteucci indagò inoltre quale influenza eserciti il cervello sulla scarica. Perciò mise allo scoperto il cervello di una torpedine viva ed osservò che i tre primi lobi possono essere irritati senza che si produca la scarica, e che, ove essi siano stati esportati, l' animale possiede ancora la facoltà di dare la scossa. Invece, il quarto lobo non può essere irritato senza che tosto si manifesti la scarica ; ma, ove esso sia distrutto, cessa ogni sviluppo di elettricità, quantunque rimangano intatti gli altri lobi. Epperò bisogna ammettere che la sorgente primitiva della elettricità elaborata dalla torpedine sia il quarto lobo cerebrale, d' onde verrebbe trasmessa per l' intermezzo dei nervi ai due organi più sopra descritti, i quali agirebbero come moltiplicatori. Sembra che anche negli altri pesci elettrici il cervello sia il punto di partenza dell' elettricità.

Osservando la quantità considerabile di elettricità sviluppata nell' organismo di certi pesci, alcuni fisici furono indotti a muovere la questione se una simile elaborazione di elettricità avvenisse anche negli altri animali, non in quantità sufficiente da dare delle scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda, ma bastanti a produrre delle azioni lente e complere funzioni essenziali alla vita, come le secrezioni, la digestione, ecc.

746. Applicazioni della elettricita' alla terapeutica. — Le prime applicazioni della elettricità alla terapeutica risalgono all' epoca della scoperta della bottiglia di Leyda. Sembra che Nollet e Boze siano stati i primi fisici i quali abbiano immaginato questa applicazione della elettricità, e ben tosto la puntura e le frizioni elettriche si credettero una panacea univer-

sale; ma bisogna convenire che i primi tentativi non corrisposero alle speranze degli sperimentatori.

Appena dopo la scoperta della elettricità dinamica, Galvani ne propose l'applicazione alla medicina; in seguito moltissimi fisici e fisiologi si occuparono di questo argomento, e nondimeno regna ancora oggidì una grande incertezza sugli effetti reali della elettricità, sui casi in cui debbasi applicarla e, finalmente, sul miglior modo di applicazione. Nonpertanto i pratici convengono nel preferire l'uso delle correnti a quello della elettricità statica, e, tranne un piccolo numero di casi, le correnti interrotte alle correnti continue. Finalmente, avvi ancora una scelta da fare tra le correnti della pila e quelle di induzione; inoltre, gli effetti di queste non sono gli stessi, a norma che si usino correnti di induzione del primo o del secondo ordine (713).

Di fatti, le correnti di induzione, quantunque assai intense, avendo una azione chimica assai debole, nell'attraversare gli organi non vi producono gli effetti chimici delle correnti della pila, e quindi non tendono a produrvi la stessa disorganizzazione. Inoltre, per l'elettrizzazione dei muscoli della faccia, devonsi preferire le correnti di induzione, perchè il dottore Duchenne, di Boulogne, il quale fece numerosissime ricerche intorno alle applicazioni terapeutiche della elettricità, constatò che queste correnti esercitano sulla retina una azione debolissima, mentre le correnti della pila agiscono su di essa assai vivamente e possono produrre sinistre conseguenze, siccome pur troppo venne provato dal fatto. Quanto alle correnti indotte di differenti ordini, secondo il dottore Duchenne, mentre la corrente indotta di primo ordine determina delle energiche contrazioni muscolari e produce deboli effetti sulla sensibilità cutanea, la corrente indotta di secondo ordine esalta, al contrario, la sensibilità cutanea a tal punto da doversene proscrivere l'uso negli individui che hanno una pelle assai irritabile.

Dalle premesse è forza conchiudere che le correnti non devono essere applicate alla terapeutica da chi non abbia una profonda cognizione delle loro differenti proprietà. Inoltre, bisogna usarne con molta prudenza perchè la loro azione soverchiamente protratta può produrre gravi accidenti. Matteucci nelle sue lezioni sui fenomeni fisici dei corpi viventi, si esprime in questo modo « Bisogna sempre usare da principio una corrente debolissima. Questa precauzione mi sembra ora più importante di quanto avrei giudicato prima che vedessi un paralitico preso da convulsioni veramente tetaniche sotto l'azione di una corrente fornita da un solo elemento. Abbiasi l'avvertenza di non prolungare di troppo il passaggio, sopratutto se la corrente è energica. Si applichi la corrente interrotta piuttosto che la continua; ma dopo *venti* o *trenta* scosse al più, si lasci all'ammalato qualche istante di riposo ».

Si immaginarono numerosi apparati per applicare alla terapeutica le correnti interrotte ottenute dall'induzione delle correnti o dall'induzione delle calamite o dalla stessa pila. Sembra che il primo apparato sia stato costrutto a Parigi del dottore Rognetta, italiano. In seguito, Masson, Dujardin,

Gloesener, Breton, Duchenne fecero conoscere diversi apparati di questo genere. Noi ne descriveremo tre; due dovuti al dottore Duchenne, uno dei quali dà la corrente indotta del primo ordine, l' altro la corrente indotta del primo o del secondo ordine, ad arbitrio; il terzo, inventato da Pulvermacher, che dà la corrente ordinaria della pila, ma interrotta ed assai intensa.

747. Apparato elettro-voltiano del dottore Duchenne — Quest'apparato risulta di un rocchetto a due fili, analogo a quello che abbiamo già descritto parlando delle correnti di induzione (707), e richiuso in un astuccio di ottone V (fig. 604). Questo rocchetto è fissato su di una scatola di legno nella quale trovansi due cassetti. Il primo contiene una bussola, che fa l' ufficio di galvanometro, e serve a misurare l' intensità della corrente induttrice per mezzo della deviazione che questa imprime all'ago. Il secondo contiene una pila a carbone disposta in modo da presentare il minor volume possibile. Anche l' elemento zinco Z ha la forma di un piccolo cassetto nel

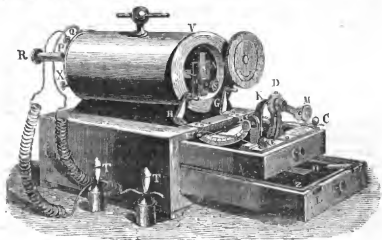



Fig. 604. ($l = 35$).

quale trovasi una soluzione di sal comune ed una piastra rettangolare O di coke preparato come quello che si adoperava per la pila di Bunsen. Nella parte centrale del carbone è praticata una piccola cavità ove si versa una tenue quantità di acido azotico, il quale viene assorbito. L ed N sono due piccole lamine di rame; la prima comunica collo zinco, e rappresenta il polo negativo, la seconda col carbone, e rappresenta il polo positivo. Quando i cassetti sono chiusi, i poli L ed N sono a contatto cogli estremi inferiori delle aste di rame P e C; da queste ultime partono due fili di rame EF, CB, i quali conducono la corrente ai pezzi H e G. Il primo di questi pezzi è mobile; quando è abbassato, la corrente passa, e, quando è rialzato, come mostra la figura, la corrente è interrotta.

Siccome la corrente indotta non si produce che all'istante in cui la corrente induttrice incomincia o termina, bisogna che quest'ultima subisca delle intermittenze continuate. Nell'apparato del dottore Duchenne, queste intermittenze possono essere, ad arbitrio, rapide o lente. Per ottenere le intermittenze rapide, si fa passare la corrente in un pezzo A di ferro dolce, che oscilla assai velocemente sotto l'influenza di un fascio di fili dello stesso metallo, il quale trovasi nell'asse del rocchetto ed è magnetizzato temporariamente quando passa la corrente. Questo pezzo, col suo moto oscillatorio, interrompe e ristabilisce la corrente induttrice, e quindi produce la corrente indotta.

Per ottenere la intermittenza lenta, si fissa il pezzo oscillante per mezzo di una piccola asta *a*, e, invece di far passare la corrente per il pezzo A, la si fa passare per una molla K e per i denti di una ruota di legno D, i quali sono di metallo e comunicano col piede I e col bottone C. Facendo ruotare la manovella N, la corrente si interrompe ogni volta che la molla K cessa di toccare un dente, e siccome i denti sono quattro, così ottengonsi quattro intermittenze per ogni giro, e, facendo ruotare con maggiore o minore velocità, si può variare ad arbitrio, in un tempo dato, il numero delle intermittenze e quindi quello delle scosse.

Per trasmettere le scosse si uniscono i capi del filo di induzione con due bottoni P e Q, sui quali si fissano due lunghi fili di rame coperti di seta e terminati da due eccitatori a manici di vetro TT. Questi eccitatori si applicano all'ammalato, in modo di far passare la corrente in quella parte del corpo che si vuole.

Finalmente, l'apparato è fornito di un *graduatore* destinato a far variare l'intensità della corrente. Questo graduatore consiste in un cilindro di rame che avviluppa il rocchetto e che si può far scorrere più o meno su di esso, come un cassetto, per mezzo di un'asta graduata R. La massima intensità ha luogo quando il graduatore è tratto all'infuori in modo da scoprire affatto il rocchetto, e la minima nel caso contrario. Quest'influenza del cilindro avviluppante, osservata da Dore e da Duchenne, proviene da correnti di induzione che si producono nella sua massa.

748. Apparato elettro-magnetico del dottore Duchenne. — Duchenne, nella sua pratica, adopera anche un secondo apparato, nel quale, come nell'apparato di Clarke (715), per isviluppare la corrente si giova non della pila, ma dell'azione induttrice di una forte calamita. La calamita KK (fig. 605) ha due rami riuniti alle loro estremità posteriori per mezzo di un'armatura di ferro dolce; davanti alle loro estremità anteriori avvi un'armatura C, pur essa di ferro dolce, che può girare liberamente su di un asse orizzontale al quale è trasmesso il movimento da una grande ruota A, per mezzo di un rocchetto O, di una catena di Vaucanson e di una manovella M.

Sulle due braccia della calamita si avvolge un filo di rame coperto di seta, destinato a ricevere l'induzione della calamita; indi sul primo filo se ne avvolge un secondo EE destinato a ricevere la corrente indotta di secondo ordine.

Quando si imprime al pezzo C un moto di rotazione più o meno rapido, questo pezzo, magnetizzandosi ogni volta che passa davanti ai poli della calamita KK, esercita sulla distribuzione dei loro magnetismo una reazione la quale fa nascere nel primo filo una corrente indotta del primo ordine, e

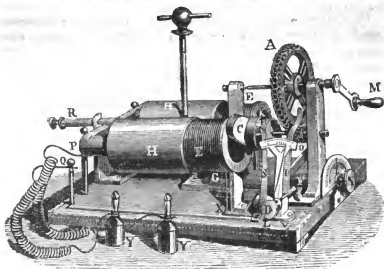



Fig. 605. ($l = 36$).

questa sviluppa contemporaneamente, nel filo EE, una corrente indotta del secondo ordine. Le due correnti possono essere raccolte separatamente, per mezzo di un sistema di due pezzi P o di due pezzi Q. dei quali, per ciascun sistema, uno solo è visibile nella figura 605. In seguito la corrente passa attraverso fili di rame avvolti a spirale sopra due eccitatori YY, che si tengono in mano impugnandone i manici di vetro, e che si dispongono poi sulle parti ammalate per farvi passare la corrente. L'intermittenza necessaria alla produzione delle correnti indotte si ottiene per mezzo di un commutatore B, analogo a quello dell'apparato di Clarke, e per mezzo di una serie di pezzi S,I,D,F di cui non daremo la descrizione.

Finalmente, si regola l'intensità delle scosse per mezzo di un bottone a vite N, il quale serve ad avvicinare o ad allontanare il pezzo C dalle calamite. Però il principale regolatore risulta di due cilindri di rame HH, i quali avviluppano i rocchetti in totalità od in parte a norma della deviazione impressa ad un'asta scorrevole R cui sono fissati. Le scosse giungono al grado minimo di loro intensità quando i cilindri ricoprono interamente i rocchetti, ed al grado massimo quando questi ne sono affatto scoperti; tali fenomeni si spiegano per mezzo di correnti indotte che si sviluppano nella massa dei cilindri.

Non potendo qui descrivere gli effetti terapeutici di questi apparati ci li-

miteremo a dire che la loro efficacia è stata constatata sopratutto nella paralisi, e in particolar modo nelle paralisi saturnine. Per più ample notizie si vegga l' opera testè pubblicata dal dottore Duchenne *De l'électrisation localisée et de son application à la physiologie, à la pathologie et à la thérapeutique.*

749. Catena galvanica di Pulvermacher. — Pulvermacher immaginò, non ha guari, una nuova pila, notabile per la sua grande tensione e per

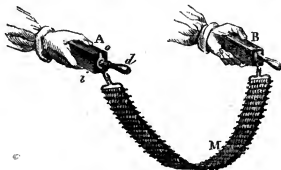



Fig. 606.

la facilità colla quale può essere messa in azione. Questa pila, molto analoga alla pila a colonna (631), è rappresentata dalla figura 606. all' istante in cui se ne riceve la scossa. La figura 607 ne rappresenta le parti.

Essa risulta di una serie di piccoli cilindri di legno M ed N. sui quali si avvolgono, uno accanto all'altro, senza toccarsi, un filo di zinco ed un filo di rame. A ciascuno de' suoi capi il filo di zinco *ab* del cilindro M si articola col filo di rame del cilindro N per mezzo di due piccoli anelli di rame infissi nel legno; indi lo zinco del cilindro N comunica nello stesso modo col rame del terzo cilindro, e così successivamente in modo che ogni zinco di un cilindro forma col rame del seguente una coppia affatto simile a quella della pila a colonna. L' insieme di queste parti forma

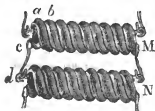



Fig. 607.

così una specie di catena che si immerge, tenendone in mano le estremità, in un bicchiere contenente dell'aceto più o meno diluito con acqua. Allora i piccoli cilindri di legno, che sono porosi, imbevendosi del liquido, fanno l'ufficio delle rotelle bagnate di acqua acidulata della pila a colonna, e l'azione chimica, che si produce fra lo zinco e l' acido acetico, sviluppa una corrente tanto più intensa quanto è maggiore il numero delle copple. Con una catena di centoventi coppie si ricevono fortissime scosse.

Per interrompere la corrente, a fine di ottenere le scosse, Pulvermacher fa uso di due armature A e B (fig. 606), alle quali sono fissati i due poli della pila M. L'armatura B serve soltanto a stabilire meglio il contatto colla mano, ma l' armatura A, oltre questo ufficio, serve a produrre l' interruzione della corrente. A quest' uopo essa contiene un piccolo movimento di orologeria, il quale fa oscillare un pezzo in modo che il polo della pila ora comunica internamente colla parete *i* dell'armatura, ed ora no. La rapidità delle oscillazioni, e quindi il numero delle scosse, si può far variare entro certi limiti per mezzo di un regolatore *o*, che si fa muovere colla mano. Finalmente, il movimento di orologeria si carica ruotando una chiave *d*, che serve di manico dell' armatura.

LIBRO X.

ELEMENTI DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA.

METEOROLOGIA

750. **Oggetto della meteorologia.** — Si chiamano *meteore*, i fenomeni che si producono nell'atmosfera, e la parte della fisica che ha per oggetto lo studio delle meteore porta il nome di *meteorologia*.

Le meteore si distinguono: in *aeree*, che sono i venti, gli uragani e le trombe; in *acquee*, le quali comprendono le nebbie, le nubi, la pioggia, la rugiada, la brina, il sereno, la neve, la grandine; ed in *luminose*, quali il fulmine, l'arcobaleno, le aurore boreali.

METEORE AEREE.

751. **Direzione e velocità dei venti.** — I *venti* sono correnti che si producono nell'atmosfera in diverse direzioni e con diversissime velocità. Quantunque possano spirare in tutte le direzioni, se ne distinguono però otto principali, cioè quelli di *nord*, di *nord-est*, di *est*, di *sud-est*, di *sud*, di *sud ovest*, di *ovest* e di *nord ovest*.

La direzione dei venti si determina col mezzo di banderuole, e la loro velocità si misura coll'*anemometro*. Si dà questo nome ad un piccolo mulino ad ali che il vento fa girare; dal numero dei giri fatti in un tempo dato si deduce la velocità del vento. Nei nostri climi la velocità media è di 5 o 6 metri. Quando ha una velocità di 2^m, il vento dicesi moderato; a 10^m di velocità chiamasi vento fresco; a 20^m è vento forte; a 25^m è di burrasca, ed a 40^m è uragano.

752. **Causa dei venti.** — I venti sono cagionati da uno squilibrio avvenuto in qualche parte dell'atmosfera e prodotto da una differenza di temperatura tra due regioni vicine. Se, per esempio, la temperatura di una parte estesa del suolo aumenta, l'aria che è in contatto con esso si scalda, si dilata e ascende verso le alte regioni dell'atmosfera dove si diffonde producendo dei venti, che spirano dalle regioni calde verso le fredde. Inoltre, trovandosi contemporaneamente tolto l'equilibrio anche alla superficie del suolo, per l'eccesso di peso che gravita lateralmente sugli strati superiori dell'atmosfera, a motivo dell'aria che vi si è riversata, ne risultano, negli strati inferiori, delle correnti in verso contrario delle prime.

753. **Venti regolari, venti periodici e venti variabili.** — Secondo che i venti spirano più o meno costantemente in certe direzioni, si può ripartirli in tre grandi classi, cioè di venti regolari, periodici ed irregolari.

1.° Si chiamano *venti regolari* quei venti che soffiano per tutto l'anno in una direzione sensibilmente costante. Questi venti, conosciuti sotto il nome di *venti alizei*, si osservano continuamente nelle zone equatoriali lungi dalle coste, ove spirano da nord-est a sud-ovest nell'emisfero boreale, e da sud est a nord ovest nell'emisfero australe. Si estendono ai due lati dell'equatore fino alla latitudine di 30° e sono diretti nello stesso verso del movimento apparente del sole, cioè dall'est all'ovest.

Siccome i venti alizei sono necessariamente prodotti, come gli altri venti, dalle variazioni di temperatura nell'atmosfera, si spiegano generalmente col riscaldamento successivo da oriente ad occidente cagionato dal moto apparente del sole. In conseguenza di questo riscaldamento, all'aria delle regioni equatoriali, che si eleva costantemente nell'atmosfera, si sostituisce l'aria più densa che nell'uno e nell'altro emisfero si dirige dal polo verso l'equatore; ma queste correnti, combinandosi col moto di rotazione, acquistano, relativamente all'equatore, la direzione inclinata e costante dei venti alizei.

2.° I *venti periodici* sono venti che spirano con regolarità in una stessa direzione, alle stesse stagioni od alle medesime ore della giornata; tali sono il monsone, il samoun e la brezza. Chiamasi *monsone* un vento che soffia per sei mesi in una direzione e per altri sei mesi in un'altra. Esso si osserva principalmente nel mare e nel golfo di Arabia, nel golfo del Bengala e nel mare della

China. Questi venti sono diretti verso i continenti nell'estate ed in verso contrario nell'inverno.

Il *samoun* è un vento ardente che soffia dai deserti dell'Asia e dell'Africa, ed è caratterizzato dalla sua elevata temperatura e dalle sabbie che solleva nell'atmosfera e trasporta seco. Quando spira questo vento, l'aria viene oscurata, la pelle si dissecca, la respirazione si accelera e la sete diventa ardente.

Questo vento è conosciuto sotto il nome di *scirocco* in Italia e in Algeri dove spira dal grande deserto di Sahara. In Egitto, dove si fa sentire dalla fine d'aprile sino in giugno, è chiamato *chamsin*. Per preservarsi dagli effetti della troppo rapida traspirazione cutanea eccitata da questo vento, gli indigeni dell'Africa si spalmano il corpo di sostanze grasse.

La *brezza* è un vento che spira sulle coste del mare verso terra durante il giorno, e dalla terra verso il mare durante la notte, cioè sempre verso la parte più calda. Scaldandosi, difatti, il suolo più del mare durante il giorno, l'aria, dilatata sopra il continente più che sul mare, ascende e in suo luogo viene una corrente d'aria più densa dal mare verso la terra. Di notte, raffreddandosi il suolo più che l'acqua del mare, in causa della irradiazione, si riproduce in verso contrario lo stesso fenomeno. La brezza di mare incomincia dopo il sorgere del sole, cresce sino a tre ore dopo mezzodì, decresce sino a sera, e dopo il tramonto del sole vi subentra la brezza di terra. La brezza di mare e quella di terra non si fanno sentire che a piccola distanza dalle spiagge. Questi venti, di cui si trovano tracce fino sulle spiagge di Groenlandia, sono regolari tra i tropici e meno regolari nei nostri paesi. Anche la vicinanza di montagne dà origine a brezze periodiche diurne.

3.° I *venti variabili* sono venti che soffiano ora in una direzione ora in un'altra, senza che si possa riconoscerli soggetti a veruna legge. Nelle latitudini medie la direzione dei venti è variabilissima, e, avanzando verso i poli, questa irregolarità aumenta, di modo che sotto la zona gelata i venti soffiano talvolta da parecchi punti dell'orizzonte. Al contrario, andando verso la zona torrida, si trovano sempre più regolari. Nel nord della Francia, in Inghilterra, in Germania predomina il vento di sud-ovest; nel mezzodì della Francia la direzione dei venti prevalenti s'accosta al nord; in Ispagna ed in Italia predomina il vento del nord.

754. **Trombe**. — Le *trombe* sono ammassi di vapore sospesi negli strati inferiori dell'atmosfera, attraverso ai quali s'avanzano, animati per lo più di un moto rotatorio talmente rapido da svellere alberi, rovesciar case, spezzare e distruggere tutti gli oggetti che incontrano.

Queste meteore, che sono generalmente accompagnate da grandine e da pioggia, slanciano spesso lampi e fulmini, e fanno udire su tutta la zona che percorrono un rumore quale di carro trascinato sopra un terreno ronchioso. Molte

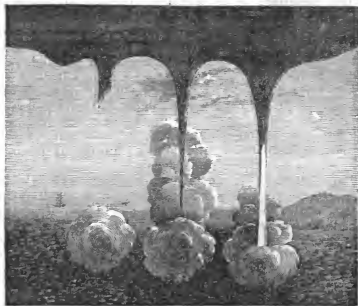



Fig. 608.

trombe non hanno moto giratorio, e circa un quarto di quelle che si osservarono si sono formate in mezzo ad atmosfera calma.

Le trombe si mostrano non solo sui continenti ma anche sul mare, ed allora il fenomeno presenta un aspetto imponente. Le acque si agitano e si sollevano in forma di cono, ed abbassandosi anche le nubi sotto forma di cono rovesciato, avviene che i due coni si riuniscano pei loro vertici e formino una colonna continua dal mare insino alle nubi (fig. 608). Però, anche in alto mare, l'acqua delle trombe non è mai salsa, onde si desume che esse sono formate principalmente di vapori condensati e non di acqua marina elevata per aspirazione.

L'origine delle trombe non ci è nota. Kæmtz ammette che siano dovute principalmente all'azione di due venti opposti i quali passino l'uno accanto all'altro, ovvero ad un vento fortissimo esistente nelle alte regioni dell'atmosfera. Peltier e molti altri fisici ammettono che le trombe abbiano origine elettrica .

METEORE ACQUEE.

755. **Nebbie.** — Le *nebbie* sono masse di vapore, le quali, condensate, allo stato vescicolare, nell'atmosfera ne occupano le regioni inferiori e ne scemano la trasparenza.

Le nebbie si formano quando il suolo umido è più caldo dell'aria: allora i vapori ascendenti si condensano e divengono visibili. Però, affinchè avvenga la condensazione, bisogna che l'aria raggiunga il suo punto di saturazione, (288). Le nebbie possono anche formarsi quando una corrente d'aria calda ed umida passi al disopra di un fiume la cui temperatura sia inferiore alla propria, perchè, raffreddandosi allora l'aria, giunge al punto di saturazione e i vapori si condensano.

756. **Nubi.** — Anche le nubi sono ammassi di vapori allo stato vescicolare come le nebbie, dalle quali differiscono soltanto perchè occupano le alte regioni dell'atmosfera: esse provengono sempre dalla condensazione dei vapori che si elevano dalla terra. Le nubi, a seconda delle diverse apparenze che presentano, si dividono in quattro specie principali, che sono i *cirri*, i *cumuli*, gli *strati* ed i *nembi*. Queste quattro sorta di nubi sono rappresentate nella figura 609 e contrassegnate rispettivamente da quattro uccelli, da tre, da due e da uno.

I *cirri* sono piccole nubi biancastre, che offrono l'aspetto di filamenti sottili, somiglianti alquanto a lana scardassata. Queste nubi sono le più elevate, ed a motivo della bassa temperatura delle regioni che occupano si considerano come formate di aghetti di ghiaccio o di fiocchi di neve. Appariscono spesso annunziatrici di un cangiamento di tempo.

I *cumuli* sono nubi arrotondate che presentano l'aspetto di montagne sovrapposte le une alle altre. Sono più frequenti d'estate che d'inverno, e, formate di mattino, generalmente, si dissipano alla sera. Ma se verso sera si moltiplicano, e specialmente se vengono sormontate da cirri, danno pronostico di pioggia o di temporale.

Gli *strati* sono falde nuvolose orizzontali, molto larghe e non interrotte, che si formano al tramontare del sole e si dissipano al mattino. Sono frequenti in autunno e rare in primavera, e si trovano in regioni più basse delle precedenti.

Finalmente, i *nembi* o nubi di pioggia sono nubi che non hanno forma caratteristica e si distinguono solo per la loro tinta, che è di un grigio uniforme, e pei loro lembi a frange.

L'altezza delle nubi è assai varia; in media è di 1200 a 1400 metri nell'inverno, e di 3000 a 4000 metri in estate, ma spesso è molto maggiore. Gay-Lussac, nella

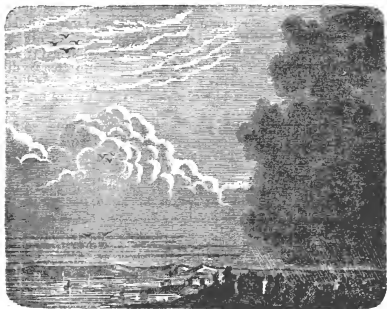



Fig. 609.

sua ascensione aerostatica all'altezza di 7016^m sul livello del mare, osservò al di sopra di sè dei cirri che sembravano ancora ad altezza considerabile. D'Abbadie, in Etiopia, osservò delle nubi temporalesche alte solo 212^m al disopra del suolo.

Per ispiegare la sospensione delle nubi nell'atmosfera, Halley propose, pel primo, l'ipotesi dei vapori vescicolari, la quale consiste nel supporre che le nubi siano formate

da una moltitudine di vescichette esilissime, cave come bolle d'acqua di sapone e piene di aria scaldata più della circostante per assorbimento del calore solare; di modo che queste vescichette nuoterebbero nell'aria come piccoli globi aerostatici. Questa teoria sostenuta da Saussure, e poi da Kratzentein, da Bravais e dal maggior numero di fisici, fu per lungo tempo accettata; ma contradetta da Desagulier indi da Monge, viene oggidì rifiutata da molti. Questi ammettono che le nubi e le nebbie sono formate da goccioline minutissime di acqua, massicce e sospese nell'atmosfera entro la quale sono sostenute delle correnti ascendenti di aria calda nella stessa guisa che le polveri leggiere sono sollevate dai venti. La ordinaria immobilità delle nubi in riguardo alle loro elevazione sarebbe secondo questi fisici soltanto apparente. Per lo più le nubi cadono lentamente, ma la loro parte inferiore va allora continuamente dissipandosi entro gli strati più caldi in cui si incontra, mentre la loro parte superiore cresce di continuo per l'aggiunta di nuovi vapori che si condensano, dal che risulta ch'esse ci sembrino conservare un'altezza costante.

757. **Pioggia**. — La *pioggia* è acqua cadente sotto forma di goccioline, la quale proviene dalla condensazione, nelle alte regioni dell'atmosfera, dei vapori che si alzano dal suolo.

La quantità di pioggia che cade annualmente in un luogo si misura per mezzo di un apparato cui si dà il nome di *pluviometro* od *udometro*. Consiste questo in un vase cilindrico M (fig. 610 e 611), il cui coperchio superiore B, conformato a cono rovescio, ha presso al vertice un piccolo foro in modo di lasciar penetrare l'acqua piovana, ma di sottrarla possibilmente all'evaporazione. Un tubo laterale A, di vetro, comunicante coll'interno, fa vedere il livello dell'acqua nel vase, ed una scala graduata in millimetri e posta a lato del tubo, come mostra la fig. 610, ne dà l'altezza. Avendo collocato quest'apparecchio in un luogo scoperto, se a capo di un mese, per esempio, l'altezza dell'acqua entro il tubo è di 5 centimetri, se ne desume che nel vase l'acqua è giunta a questa altezza, e che, per conseguenza, se la pioggia caduta fosse rimasta sul suolo, senza che ne evaporasse o ne infiltrasse veruna parte, se ne troverebbe uno strato di 5 centimetri.

All'osservatorio di Parigi si è constatato che la quantità di pioggia raccolta nel pluviometro è tanto maggiore quanto

meno elevato è l'istromento al di sopra del suolo. La stessa osservazione è stata fatta in Inghilterra e in America. Sulle prime si era spiegato questo fenomeno dicendo che le gocce di pioggia le quali, in generale, sono più fredde degli strati d'aria per cui passano, condensano il vapore contenuto in questi strati, e, per conseguenza, vanno crescendo in volume, d'onde risulterebbe che deve cadere maggiore quantità di pioggia alla superficie del suolo che ad una certa elevazione. Ma a questa spiegazione venne opposto che la differenza tra la quantità di pioggia che cade alla superficie del suolo e quella che si riceve ad

Fig. 610. *Fig.* 611.

una certa elevazione sorpassa sei o sette volte quella che potrebbe risultare dalla condensazione, anche durante tutto il tragitto delle gocce di pioggia dalle nubi sino al suolo. Si è pertanto attribuita questa differenza ad una causa puramente locale, e oggidì si ammette che essa sia occasionata da vortici che si producono nell'aria intorno al pluviometro, i quali sono tanto più sensibili quanto più esso trovasi elevato al di sopra del suolo e il cui effetto è di disperdere le goccioline che sarebbero dirette a cadere entro l'istromento e di diminuire così la quantità di acqua ch'esso riceve.

È però evidente che se le gocce di pioggia attraversano un'aria umida, esse possono, a norma della loro temperatura, condensare del vapore e crescere in volume. Se, al contrario, esse attraversano aria asciutta, le goccioline evaporano e cade minore quantità di pioggia sul suolo che ad una certa elevazione; e può persino avvenire per questo motivo che la pioggia non giunga sino a terra.

Molte circostanze locali possono far variare la quantità d'acqua che cade in diversi paesi, ma, a parità di tutte le altre circostanze, deve piovere più copiosamente nei paesi caldi perchè ivi la evaporazione è più abbondante. Ed infatti si osserva che la quantità di pioggia decresce dall'equatore ai poli. A Parigi l'altezza dell'acqua che cade annualmente è di 0m,564, a Bordeaux di 0m,650, a Madera di 0m,767 (*), all'Avana di 2m,32, a San-Domingo di 2m,73.

La quantità di pioggia varia colle stagioni. A Parigi l'altezza dell'acqua che cade in inverno è di 0m,107; in primavera di 0m,174; in estate di 0m,161; in autunno di 0m,122. Adunque la minore quantità di pioggia si ha nell'inverno.

758. **Rugiada, sereno, brina.** — La *rugiada* è vapore che si depone in goccioline sui corpi durante la notte. Questa deposizione è cagionata dal raffreddamento dei corpi collocati alla superficie del suolo per effetto dell'irradiamento notturno (404), poichè, abbassandosi la loro temperatura di parecchi gradi al di sotto di quella dell'aria, avviene specialmente nelle stagioni calde, che questa temperatura diventi minore di quella alla quale l'atmosfera sarebbe satura. Allora gli strati d'aria che sono in contatto coi corpi ed hanno sensibilmente la stessa temperatura di questi, lasciano precipitare in parte il vapore che contengono, come, quando si reca una tazza piena di acqua fresca in una camera calda ed umida, i vapori contenuti nell'aria si condensano sulle pareti della tazza.

Secondo questa teoria, dovuta all'inglese Wells, tutte le cause che favoriscono il raffreddamento dei corpi devono aumentare la quantità di rugiada. Queste cause sono: la facoltà emissiva dei corpi, lo stato del cielo e l'agitazione dell'aria. I corpi dotati di una grande facoltà emissiva (362), raffreddandosi di più, devono condensare maggior copia di vapori. Infatti, la rugiada non si deposita generalmente sui metalli, i quali hanno poca facoltà emissiva, principalmente se sono levigati; mentre le terre, le sabbie, il vetro, le piante, che hanno una grande facoltà emissiva, si coprono abbondantemente di rugiada.

Lo stato del cielo ha grande influenza sulla rugiada. Quando il cielo è coperto di nubi, queste fanno l'ufficio di riflettori che rimandano verso il suolo il calorico rag-

(*) A Milano è di 0m,960. (*Nota dei Trad.*).

giante, ed il raffreddamento, in generale, non giunge al punto necessario per la formazione della rugiada; lo stesso effetto si osserva più evidentemente ancora quando i corpi, invece di essere esposti all'aria libera, si trovano sotto un coperto qualunque.

Anche il vento ha una grande influenza sulla deposizione del vapore; se è debole, può aumentare il deposito col rinnovamento dell'aria, ma, se è forte, comunemente lo diminuisce, non essendo allora il contatto dell'aria coi corpi prolungato abbastanza perchè avvenga la condensazione. Finalmente, il deposito di rugiada è tanto più copioso quanto più umida è l'aria, perchè questa trovasi in tal caso più prossima al suo punto di saturazione.

Il *sereno* è una precipitazione acquea sotto forma di una pioggia minutissima, la quale avviene senza che si scorgano nubi. Questo fenomeno si produce nei paesi umidi, quando, dopo un giorno molto caldo, al tramonto del sole, gli strati inferiori dell'aria si raffreddano al di sotto del loro punto di saturazione.

La *brina* è formata come la rugiada, dai vapori contenuti nell'atmosfera, quando si condensano sopra corpi ad una temperatura inferiore a zero. La forma di fiocchi che essa presenta dimostra che i vapori si congelano immediatamente, senza passare allo stato liquido. La brina si deposita, come la rugiada, di preferenza sui corpi che maggiormente irradiano, come i rami e le foglie delle piante, e il deposito avviene principalmente sulle parti rivolte al cielo.

759. **Neve, grandine minuta, gelicidio.** — La *neve* è acqua solidificata in piccoli cristalli stellati, ramificati in varie guise, la quale cade assai lentamente a traverso l'atmosfera. Questi cristalli provengono dalla congelazione del vapore vescicolare delle nubi quando la loro temperatura si abbassa al di sotto di 0°, e sono tanto più regolari quanto più calma è l'aria in cui si sono formati. Per osservarli si ricevono sopra un corpo nero e si guardano per mezzo di una lente a corto fuoco. È veramente mirabile la regolarità delle loro forme, le quali sono nello stesso tempo anche svariatissime. La figura 612 rappresenta alcune delle forme dei cristalli di neve osservati col microscopio.

La neve cade più di frequente nei luoghi che sono più vicini ai poli o più elevati sul livello dei mari. Verso i poli la terra è continuamente coperta di neve; altrettanto

accade sulle cime dei monti ove durano le nevi perpetue anche nelle regioni equatoriali.

La *grandine minuta* è anch'essa acqua solidificata sotto forma di piccoli aghi di ghiaccio stipati confusamente gli uni contro gli altri. La sua formazione viene attribuita alla congelazione rapida del vapore delle nubi in un'aria agitata.

Il *gelicidio* è una falda di ghiaccio compatto e traspa-

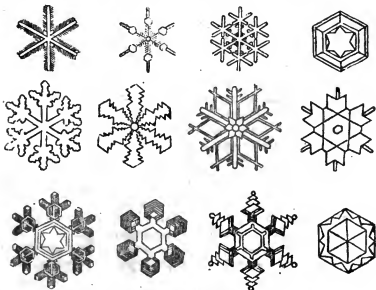



Fig. 612.

rente che si forma, sul suolo, alla superficie dei corpi. Per la sua formazione richiedesi che, mentre la temperatura del suolo è al di sotto di zero, dopo alcuni giorni di un freddo continuo, cada un po' di pioggia. Questa si congela tosto e forma il gelicidio; ma se la pioggia cade copiosa, il suolo si scalda e non si produce più il fenomeno.

760. **Grandine.** — La *grandine* o *gragnuola* è un ammasso di globetti di ghiaccio compatti, più o meno voluminosi, che si formano nell'atmosfera. Nei nostri climi la grandine cade principalmente in primavera ed in estate e nelle ore più calde della giornata, rare volte di notte. La caduta della grandine è sempre preceduta da uno strepito particolare.

La grandine è generalmente il precursore delle procelle; di raro le accompagna e più di raro le sussegue. La grossezza della gragnuola è variabilissima; spesso giunge a pareggiare quella di una nocciuola, e ne fu veduta della grossezza di un uovo di piccione e del peso di 200 o 300 grammi. Non si conosce veruna teoria che spieghi in modo soddisfacente la formazione della gragnuola, e specialmente come questa possa giungere ad acquistare un peso tanto considerabile prima di cadere. Secondo la teoria di Volta (609), la gragnuola sarebbe successivamente attratta da due nubi cariche di elettricità contrarie; ma si potrebbe obbiettare che se la gragnuola è attratta, tanto più dovrebbero attrarsi le due nubi e confondersi in una.

METEORE LUMINOSE.

761. **Elettricità atmosferica, esperimento di Franklin.** — I fenomeni luminosi più frequenti e più notabili pei loro effetti sono quelli prodotti dalla elettricità libera che trovasi nell'atmosfera. I primi fisici che osservarono la scintilla elettrica la paragonarono tosto alla luce del lampo, e lo scoppiettìo, ch'essa produce, al rumore del tuono. Ma Franklin fu il primo che, col mezzo delle batterie elettriche da lui inventate, potè stabilire un parallelo tra il fulmine e la elettricità, ed indicare, in una memoria pubblicata nel 1749, gli esperimenti da farsi per cavare dalle nubi temporalesche la loro elettricità col mezzo di punte metalliche. Guidato dalle idee teoriche di Franklin, Dalibard, fisico francese, eresse in un giardino a Marly, presso a Parigi, una spranga di ferro isolata, dell'altezza di 33^m, la quale, sotto l'influenza di una nube temporalesca, il 10 maggio 1752, diede delle scintille bastanti per caricare parecchie bottiglie di Leyda. Frattanto, Franklin si disponeva dal canto suo a fare l'esperimento che aveva annunciato. Attendeva a questo fine che fosse compiuta la costruzione di un campanile già incominciato, quando gli venne in pensiero di adoperare un cervo volante munito di una punta metallica, il quale poteva elevarsi nell'atmosfera ad un'altezza maggiore di quella del campanile. Adunque, nel giugno del 1752, senza conoscere l'esperimento di Dalibard, si recò un giorno di temporale ad un campo vicino a Filadelfia in compagnia di un suo figlio. Ivi, lanciato il cervo volante, attaccò una chiave alla fune, ed alla chiave un cordone di seta destinato ad

isolare l'apparecchio, indi fissò il cordone di seta ad un albero. Avendo presentato la mano alla chiave non ne cavò sulle prime veruna scintilla, e cominciava a disperare dell'esito, quando, sopravvenuta una leggiera pioggia, la corda divenne meglio conduttrice e la chiave diede l'aspettata scintilla. La emozione del celebre fisico fu tanto viva che, come racconta egli stesso nelle sue lettere, non potè frenare le lacrime.

Franklin, il quale aveva scoperto la proprietà delle punte (590), ma ne ignorava la teoria, ammetteva che il cervo volante sottraesse dalla nube la elettricità; oggidì, giusta la teoria della elettrizzazione per influenza (594), il fenomeno si spiega colla influenza che la nube temporalesca esercitava sul cervo volante e sulla fune.

762. **Apparati per constatare l'elettricità atmosferica.** — Gli apparati di cui si fa uso per riconoscere la presenza della elettricità nell'atmosfera sono l'elettrometro a palle di sambuco, ovvero a pagliette od a foglie d'oro, l'apparato di Dalibard, delle frecce lanciate nell'atmosfera, od anche dei cervi volanti, oppure dei palloni legati ad una fune.

Per osservare l'elettricità in un tempo sereno, essendo in tal caso la tensione generalmente debole, si adopera di preferenza l'elettrometro che Saussure aveva destinato a questo genere di ricerche. È un elettrometro simile a quello già descritto (598), ma l'asta che porta le foglie d'oro o le pagliuzze è sormontata da un conduttore alto sei decimetri e terminato con una punta, ovvero con una sfera (fig. 613). Per difendere dalla pioggia l'apparato, lo si copre di un cappello conico di ottone del diametro di un decimetro. La custodia di vetro, che è quadrata invece di essere rotonda, ha soltanto cinque centimetri di larghezza, ed un cerchio graduato, posto sulla sua faccia anteriore, indica l'angolo di divergenza delle due foglie d'oro o delle pagliette. Questo elettrometro dà segni di elettricità atmosferica sol quando si elevi nell'atmosfera in modo che trovisi negli strati d'aria il cui stato elettrico sia superiore al proprio. Un'elevazione di 3 decimetri basta per ottenere una divergenza di 20° in causa dell'eccesso di elettricità.

Saussure, per riconoscere la elettricità dell'atmosfera, si servì anche di una palla di ottone, che lanciava verticalmente in alto colla mano. Questa palla era fissata all'estremità di un filo metallico, e l'altro capo del filo era

legato ad un anello scorrevole lungo il conduttore dell'elettrometro. Dall'allontanamento delle due pagliette o delle foglie d'oro egli rilevava lo stato elettrico dell'aria a quell'altezza a cui era giunta la palla. Becquerel, nelle sue esperienze fatte sul monte San Bernardo, perfezionò l'apparato di Saussure, sostituendo alla palla una freccia che veniva lanciata nell'atmosfera per mezzo di un arco teso fortemente. Un filo di seta coperto di talco e lungo ottanta metri era fissato per un capo alla freccia e per l'altro all'asta di un elettrometro a pagliette.

Peltier adoperò un elettrometro a foglie d'oro sormontato da una sfera di rame alquanto voluminosa. Con questo strumento l'osservatore si pone su qualche eminenza che domini i luoghi circostanti e basta allora elevare l'elettrometro a piccola altezza. anche solo di qualche decimetro, perchè questo dia segno di elettricità.

Fig. 613.

Per osservare l'elettricità delle nubi, la cui tensione elettrica è assai rilevante, si fa uso di una lunga spranga metallica terminata in punta, come quella che era stata adoperata da Dalibard per l'esperimento sopra citato. Questa spranga, che è isolata accuratamente e fissata in cima di un edificio, comunica inferiormente con un elettrometro od anche con uno scampanio elettrico (fig. 450 pag. 640), il quale annunzia la presenza delle nubi temporalesche. Però, siccome in tal caso la spranga può dare delle scintille pericolose, si deve collocarle allato una sfera metallica posta in sicura comunicazione col suolo e più vicina alla spranga che l'osservatore, affinchè, se scocca la scintilla, ne sia colpita la palla e non quest'ultimo. Richmann, professore a Pietroburgo, in un esperimento di questo genere, fu colpito in fronte da una scintilla, che lo uccise.

Finalmente, si adoperarono anche i cervi volanti muniti di una punta, come nell'esperimento di Franklin, ov-

vero dei palloni trattenuti da corde metalliche e comunicanti con un elettrometro.

763. **Elettricità ordinaria dell'atmosfera.** — Per mezzo dei diversi apparati, che or ora sono stati descritti, si è verificato che l'atmosfera contiene dell'elettricità libera non soltanto durante i temporali, ma sempre, e che questa è ora positiva ora negativa. Quando il cielo è limpido, senza nubi, si osserva costantemente nell'atmosfera l'elettricità positiva; ma la sua intensità è diversa nei luoghi diversamente elevati e nelle varie ore della giornata. L'intensità massima si osserva nei luoghi più elevati e più isolati; nelle case, nelle contrade, sotto gli alberi, non si trova veruna traccia di elettricità positiva. Entro le città l'elettricità positiva è sensibile soltanto nelle grandi piazze, sulle strade che fiancheggiano i fiumi e sui ponti. In ogni caso l'elettricità positiva si osserva soltanto ad una certa altezza al di sopra del suolo. In aperta campagna l'elettricità non è sensibile che all'altezza di 1m,30; più in alto essa cresce con una legge tuttora ignota e che dipende dallo stato igrometrico dell'aria.

Al sorgere del sole l'eccesso di elettricità positiva dell'atmosfera è debole; cresce fino verso le 8 o le 11 ore a seconda delle stagioni, ed allora giunge ad un primo massimo. Decresce indi rapidamente fino quasi all'ora del tramonto, e cresce di nuovo, arrivando ad un secondo massimo, poche ore dopo il tramonto; pel restante della notte l'elettricità decresce. Questi periodi di aumento o di decremento, che si osservano in tutto l'anno, sono tanto più sensibili quanto più sereno è il cielo e calma l'atmosfera. Finalmente, l'elettricità positiva dei giorni sereni è molto più intensa d'inverno che d'estate.

Quando il cielo è coperto, si osserva nell'atmosfera ora l'elettricità positiva, ora la negativa. Avviene anche soventi che l'elettricità cangi di segno parecchie volte in un giorno pel passaggio di nubi elettrizzate. Nei giorni di temporale, di pioggia o di neve l'atmosfera è elettrizzata ora positivamente ora negativamente, e le due elettricità si manifestano complessivamente per numeri di giorni pressocchè eguali. La tensione elettrica può diventare grande abbastanza per rendere scintillante la pioggia, come fu osservato parecchie volte.

Peltier, per mezzo del moltiplicatore, si è assicurato che l'elettricità del suolo è sempre negativa, ma di di-

versa intensità secondo lo stato igrometrico, e la temperatura dell'aria.

764. **Cause dell' elettricità atmosferica.** — Con diverse ipotesi si è tentato di spiegare l'origine della elettricità atmosferica. Alcuni la attribuirono allo strofinamento dell'aria contro il suolo; altri alla vegetazione delle piante o all'evaporazione dell'acqua. Taluni hanno anche paragonato la terra ad una grandissima pila voltiana, ed altri ad un apparato termo-elettrico (736). Parecchie di queste cause possono infatti concorrere a produrre il fenomeno; una sola però fu bene constatata, cioè l'evaporazione dell'acqua alla superficie del suolo.

Volta mostrò pel primo che l'evaporazione dell' acqua produce elettricità. Indi Pouillet riconobbe che se l'acqua è distillata l' evaporazione non dà mai svolgimento di elettricità; ma che se tiene in soluzione un alcali od un sale, anche in piccola dose, il vapore è elettrizzato positivamente e la soluzione negativamente. Se l'acqua è unita ad un acido, avviene il contrario. Ciò posto, si intende come i vapori che si svolgono dalle acque esistenti sulla superficie del suolo e nei mari, le quali contengono sempre in soluzione delle sostanze saline, si elettrizzino positivamente ed il suolo prenda l'elettricità negativa.

Per constatare lo svolgimento di elettricità nell' evaporazione, si scalda ben bene una capsula di platino e vi si versa una piccola quantità di acqua, indi si colloca la capsula sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 466 pag. 655), avvertendo di far comunicare l'inferiore col suolo. Quando l'acqua è evaporata, si interrompe la comunicazione col suolo e si toglie il piatto superiore. Allora le foglie d'oro divergono se l' acqua teneva in soluzione qualche sostanza estranea; rimangono immobili se l'acqua era distillata.

Appoggiandosi a questo esperimento, Pouillet attribuì lo svolgimento dell'elettricità per mezzo dell'evaporazione alla separazione delle particelle d'acqua dalle sostanze sciolte; ma Reich e Riess, in Germania, hanno mostrato che l'elettricità sviluppata durante l'evaporazione può essere attribuita all'attrito delle particelle d'acqua, trascinate dal vapore, contro le pareti del vase, come avviene nella macchina di Armstrong (606). Con esperienze recenti Gaugain giunse pure allo stesso risultato, e ne conchiuse che non si può ormai attribuire l'elettricità dell'atmosfera alle segregazioni chimiche prodotte durante l'evaporazione tranquilla delle acque dei mari.

Quanto all'ipotesi che consiste nel considerare la terra siccome una immensa sorgente di elettricità voltiana dovuta ad azioni chimiche, Becquerel pubblicò recentemente delle esperienze numerose dalle quali risulta che il contatto delle terre colle acque dà sempre uno svolgimento di elettricità, elettrizzandosi la terra ora positivamente ora negativamente e l'acqua sempre in verso contrario, secondo la natura dei sali o di altri composti che essa tiene in soluzione. Questo fatto generale, dopo i lavori di Becquerel, non ha più bisogno di dimostrazione.

Questo fisico istituiva i suoi esperimenti per mezzo di un moltiplicatore ordinario, il cui filo veniva posto in comunicazione con due lamine di platino immerse nelle acque o nei terreni dei quali voleva conoscere lo stato elettrico. Così egli potè riconoscere che quando due terreni umidi si trovano in contatto, quello che contiene la soluzione più concentrata si elettrizza positivamente. Trovò nell'egual modo che presso ai fiumi, anche fino ad una certa distanza, la terra e gli oggetti posti alla superficie di essa avevano un eccesso di elettricità negativa, mentre l'acqua e le piante acquatiche sornuotanti sulla superficie dell'acqua erano cariche di elettricità positiva. Però, secondo la natura delle sostanze tenute in soluzione nell'acqua, possono anche venire prodotti effetti opposti.

Giusta gli esperimenti di Becquerel, le acque, trovandosi ora in istato di elettricità positiva ora di negativa, e le terre in istato opposto, ne segue che l'acqua, trasformandosi in vapore, deve costantemente versare nell'atmosfera un eccesso di elettricità positiva o negativa, mentre la terra, per mezzo dei vapori che si svolgono dalla sua superficie, lascia libera la elettricità contraria. Ora, queste elettricità devono necessariamente influire sulla distribuzione della elettricità diffusa nell'atmosfera, e possono servire a spiegare come le nubi siano elettrizzate ora positivamente ed ora negativamente (765).

765. **Elettricità delle nubi**. — In generale, tutte le nubi sono elettrizzate ora positivamente ora negativamente, e la loro tensione è varia. La formazione di nubi positive si intende facilmente, perchè i vapori, che si svolgono dal suolo e vanno a condensarsi nelle alte regioni dell'atmosfera, per costituire le nubi, sono appunto elettrizzati positivamente. Si ammette poi che le nubi negative risultino di nebbie, le quali, pel loro contatto col suolo, si siano caricate di fluido negativo, che conservano

in seguito allorchè si elevano nell'atmosfera, ovvero che, separate dal suolo per mezzo di strati d'aria carichi di umidità, siano state elettrizzate negativamente per influenza di nubi positive, le quali abbiano respinta nel suolo la elettricità positiva. Ma gli esperimenti precedenti (764) di Becquerel bastano per ispiegare i due stati elettrici opposti che possono presentare le nubi.

766. **Lampo.** — Il *lampo* è una luce abbagliante projettata dalla scintilla elettrica, che scocca tra due nubi cariche di elettricità contrarie. La luce del lampo è bianca nelle regioni basse dell'atmosfera; ma nelle regioni elevate, dove l'aria è più rarefatta, prende una tinta violacea, come in pari circostanza avviene della scintilla della macchina elettrica (621).

I lampi talvolta hanno la lunghezza di parecchie leghe; nell'aria seguono un cammino tortuoso a zig-zag. Questo fenomeno si attribuisce alla resistenza che presenta l'aria compressa da una forte scarica, per cui la scintilla devia dalla linea retta per prendere la direzione nella quale la resistenza è minore. Infatti, nel vuoto la elettricità si trasmette in linea retta.

Si possono distinguere quattro specie di lampi. 1.° I lampi a zig-zag, che guizzano rapidissimi sotto la forma di una striscia di fuoco a contorni ben distinti, e che sono affatto simili alle scintille della macchina elettrica. 2.° I lampi che invece di essere lineari, come gli anzidetti, abbracciano tutto l'orizzonte senza presentare alcun contorno apparente, e somigliano allo splendore improvviso che accompagna l'esplosione di materie infiammabili; questi lampi, che sono i più frequenti, sembrano prodursi nel seno stesso della nube e rischiararne la massa. 3.° I lampi detti di *calore* perchè brillano nelle notti d'estate senza che apparisca alcuna nube sull'orizzonte e non sono accompagnati da alcun rumore. Furono proposte molte ipotesi per ispiegare l'origine di questi lampi: la più probabile è che siano lampi ordinarii i quali scoccano fra nubi situate al di sotto dell'orizzonte a tali distanze che il rumore del tuono non possa giungere all'orecchio dell'osservatore. 4.° I lampi che appariscono sotto forma di un globo di fuoco. Questi lampi, che sono talvolta visibili per più di dieci secondi, discendono dalle nubi al suolo abbastanza lentamente perchè l'occhio possa seguirli. Questi globi spesso rimbalzano al loro contatto col suolo, e talora si dividono e scoppiano con rumore paragonabile alla detuonazione di parecchi

cannoni. Si è osservato che quando il fulmine entra negli edifizii generalmente si presenta sotto questa forma. L'origine di questi lampi non è conosciuta.

La durata dei lampi delle prime tre specie non giunge ad un millesimo di minuto secondo, come riconobbe Wheatstone per mezzo di una ruota che girava abbastanza rapidamente perchè i suoi raggi, quando erano illuminati da luce continua, non fossero visibili. Allora, osservandola illuminata colla luce di un lampo, attesa la brevissima durata di questo, appariva affatto immobile qualunque fosse la sua velocità di rotazione; cioè non tornava sensibile lo spostamento della medesima durante il lampo.

767. **Rumore del tuono.** — Il *tuono* è la detuonazione violenta che succede al lampo nelle nubi temporalesche. Il lampo e la detuonazione sono sempre simultanei, ma si osserva, generalmente, che passa un intervallo di parecchi secondi tra questi due fenomeni, il che proviene dalla differenza tra la velocità del suono, il quale percorre circa 337^m in ogni secondo (192), e quella della luce, la quale impiega un tempo inapprezzabile per giungere dalla nube all'occhio dell'osservatore (411). Per conseguenza, il rumore si ode cinque o dieci secondi dopo veduto il lampo, a norma che la nube è distante dall'osservatore di 5 o di 10 volte 337 metri.

Il fragore del tuono risulta dallo scuotimento prodotto nella nube e nell'aria dalla scarica elettrica, scuotimento il quale è reso sensibile nell'esperimento del termometro di Kinnersley (624). Vicino al luogo ove scocca il lampo, lo strepito del tuono è brusco e di breve durata. Più lungi si ode una serie di rumori, che si succedono rapidamente. A maggiore distanza ancora, il rumore, debole a principio, si cangia in un rumore prolungato di intensità assai ineguale. Furono proposte molte ipotesi per ispiegare questo fenomeno, ma nessuna di esse soddisfa compiutamente. Alcuni lo attribuirono alla riflessione del suono sulla terra e sulle nubi; altri hanno considerato il lampo come una serie di scintille elementari ciascuna delle quali produca una detuonazione particolare. Ora, siccome queste detuonazioni parziali partono da punti diversamente lontani e da zone inegualmente dense, ne risulta che non solo esse giungono all'orecchio dell'osservatore successivamente, ma che vi arrecano altresì dei suoni di diseguale intensità, d'onde deriva la durata e l'ineguaglianza del rumore. Finalmente, si è attribuito

questo fenomeno alle tortuosità stesse del lampo, ammettendo che avvenga una condensazione massima dell'aria ad ogni angolo saliente, il che produrrebbe la ineguale intensità del suono.

768. **Effetti del fulmine**. — Il *fulmine* è la scarica elettrica che avviene tra una nube temporaesca ed il suolo. Quest'ultimo, sotto l'influenza della elettricità della nube, si carica di elettricità contraria, e quando lo sforzo che fanno queste due elettricità per riunirsi vince la resistenza dell'aria, la scintilla scocca, il che si esprime dicendo che *cade* il fulmine. D'ordinario si ammette che il lampo scenda dall'alto, ma si osserva sovente una direzione opposta, ed è più probabile che il lampo guizzi nello stesso tempo dalla nube e dal suolo.

Giusta la prima legge delle attrazioni elettriche (587), il fulmine deve cadere sugli oggetti piu vicini alla nube e sui migliori conduttori. Si osserva, infatti, che sono più particolarmente colpiti dal fulmine gli alberi, gli edificii elevati, i metalli. È pertanto un'imprudenza il collocarsi sotto gli alberi, durante il temporale, specialmente se questi alberi sono buoni conduttori, come le roveri e gli olmi; il pericolo è minore sotto alberi resinosi, come i pini, perchè questi conducono male la elettricità.

Gli effetti del fulmine sono svariatissimi, però tutti della stessa natura di quelli delle batterie (620), benchè molto più intensi. Il fulmine uccide gli uomini e gli altri animali, accende le sostanze combustibili, fonde i metalli, riduce in frammenti i corpi poco conduttori. Quando penetra nel suolo fonde le materie silicee che si trovano sul suo passaggio, e si producono per tal guisa, nella direzione della scarica, dei tubi vetrificati che si denominarono *tubi fulminari* o *fulgoriti* e che talvolta sono lunghi sino dieci metri. Finalmente, quando cade sovra spranghe di ferro le magnetizza, e rovescia spesso i poli degli aghi delle bussole.

In generale, il fulmine diffonde, ove passa, un odore che si è paragonato a quello del solfo infiammato o di una sostanza fosforica. Questo odore venne attribuito ad un composto ossigenato, che ammettevasi formato sotto l'influenza della scarica elettrica e che fu denominato *ozono;* ma Schoenbein, nel 1840, indi Marignac e De la Rive, da ultimo Edmondo Becquerel e Fremy hanno dimostrato che l'ozono non è altro che ossigeno elettrizzato.

769. **Contraccolpo**. — Il *contraccolpo* è una scossa

violenta e non di rado mortale che provano talvolta gli uomini e gli altri animali, anche a grande distanza dal luogo ove scoppia il fulmine. Questo fenomeno è cagionato dall'influenza che la nube temporalesca esercita sopra tutti i corpi collocati nella sua sfera di attività. Allora questi corpi si trovano, al pari del suolo, carichi di elettricità contraria a quella della nube; ma se quest'ultima si scarica, ricomponendosi la sua elettricità con quella del suolo, cessa immediatamente l'influenza, e, ritornando improvvisamente i corpi allo stato naturale, ne risulta la scossa che caratterizza il contraccolpo. Si rende sensibile questo fenomeno collocando una rana presso ad una potente macchina elettrica; ogni volta che si cava dalla macchina una scintilla, la rana prova una violenta scossa.

770. **Parafulmine.** — Un parafulmine è un'asta di ferro destinata ad offerire un facile efflusso all'elettricità del suolo attratta dalla elettricità contraria delle nubi temporalesche. I parafulmini furono inventati da Franklin nel 1755.

In un parafulmine si distinguono due parti, cioè l'asta ed il conduttore. L'*asta* è una spranga di ferro ad asse rettilineo terminata in punta, la quale viene fissata verticalmente in vetta agli edificii che si vogliono guarentire; la sua altezza è da 6 a 9 metri, e la sua sezione, alla base, è un quadrato di 5 a 6 centimetri di lato. Il *conduttore* è una verga di ferro che dal piede dell'asta scende sino al suolo e vi penetra fino ad una certa profondità. Siccome però le verghe di ferro non potrebbero per la loro rigidezza addattarsi facilmente ai contorni degli edificii, si preferisce di adoperare per conduttori delle corde di filo di ferro simili a quelle che si adoperano pei ponti sospesi. L'Accademia delle Scienze a Parigi ha pubblicato recentemente un rapporto sui parafulmini, nel quale si raccomanda di usare piuttosto dei fili di rame che dei fili di ferro per fare le corde metalliche destinate a servire di conduttore, per ciò che il rame conduce l'elettricità meglio del ferro. Secondo tale rapporto queste corde devono avere un centimetro quadrato di sezione metallica, i fili da 1 a 1,5 millimetri di diametro e possono essere intrecciate a tre fili, come d'ordinario. Lo stesso rapporto poi consiglia di terminare l'asta dei parafulmini con una punta di rame anzichè con una punta di platino, sempre a motivo della maggiore conduttività del rame.

Il conduttore termina ordinariamente in un pozzo, e, per istabilire meglio la comunazione col suolo, si divide all'estremità in due o tre ramificazioni. Se non vi sono pozzi in vicinanza, si fa nel suolo un foro profondo da quattro a sei metri, e, dopo avervi introdotta l'estremità del conduttore, si riempie il foro con carbonella, che è un buon conduttore.

La teoria dei parafulmini è fondata sull'elettrizzazione per influenza e sulla facoltà delle punte (590). Franklin, il quale, appena ebbe constatata l'identità della folgore colla elettricità, pensò ad applicare la facoltà delle punte ai parafulmini, ammetteva che questi sottraessero dalle nubi temporalesche la elettricità; ed invece avviene il contrario. Quando una nube temporalesca elettrizzata, per esempio, positivamente, si eleva nell'atmosfera, agisce per influenza sulla terra, respinge il fluido positivo ed attrae il negativo, il quale si accumula sui corpi posti alla superficie del suolo, tanto più abbondantemente quanto maggiore è la loro elevazione. Allora i più alti sono i più esposti alla scarica elettrica; ma se questi corpi sono muniti di punte metalliche, come le aste dei parafulmini, il fluido negativo attratto dal suolo per l'influenza della nube effluisce nell'atmosfera e va a neutralizzare il fluido positivo della nube. Per conseguenza, non solo un parafulmine impedisce l'accumulazione della elettricità alla superficie della terra, ma tende anche a ridurre le nubi temporalesche allo stato naturale, i quali effetti ambedue cospirano a prevenire la caduta del fulmine. Nondimeno lo svolgimento di elettricità è talvolta sì abbondante che il parafulmine torna insufficiente a scaricare il suolo, ed il fulmine scoppia; ma allora la scarica cade sul parafulmine a motivo della sua maggiore conduttività, e l'edificio è preservato.

L'esperienza ha insegnato che un'asta di un parafulmine protegge efficacemente all'ingiro uno spazio circolare di un raggio doppio della sua altezza. Per conseguenza un edificio della lunghezza di 64 metri potrebbe essere difeso da due aste di 8 metri di altezza, distanti 32 metri.

All'efficacia di un parafulmine si richiedono le condizioni seguenti: 1.ª l'asta deve essere grossa abbastanza per non rimanere fusa quando il fulmine la colpisca; 2.ª dev'essere terminata in punta per dare meglio passaggio all'elettricità che proviene dal suolo; per ottenere

questo intento si termina d'ordinario l'asta con una punta di platino o di rame indorato affine di impedirne l'ossidazione; 3.ª il conduttore non deve presentare veruna soluzione di continuità dall'asta sino al suolo; 4.ª la comunicazione tra l'asta ed il suolo deve essere stabilita nel modo più sicuro; 5.ª se nell'edificio che si munisce di parafulmine si trovano dei pezzi metallici di una certa estensione, per esempio, un coperto di zinco, delle grondaje di metallo, si deve aver cura di farli comunicare col conduttore del parafulmine.

Ove non siano soddisfatte le tre ultime condizioni, l'edificio è esposto alle *scariche laterali*, cioè può scoccare la scintilla tra esso ed il conduttore, ed in tal caso il parafulmine non farebbe che accrescere il pericolo.

Per maggiori particolari sui parafulmini si può consultare una *Istruzione sui parafulmini* pubblicata da Gay-Lussac, nel 1823, la quale è stata ristampata ed accresciuta di un supplemento redatto da una commissione dell'Accademia delle Scienze, a proposito delle grandi quantità di ferro che esistono sulle costruzioni navali.

771. **Arcobaleno**. — L'*arcobaleno* od iride è una meteora luminosa che apparisce nelle nubi opposte al sole quando si risolvono in pioggia; esso è formato di sette archi concentrici posti l'uno accanto all'altro, i quali presentano i colori dello spettro solare. Talvolta si osserva un solo arco baleno, ma più spesso se ne vedono due; l'uno interno, i cui colori sono più vivi, l'altro esterno, più pallido e nel quale l'ordine dei colori è inverso. Nell'arco interno il colore più elevato è il rosso, nell'esterno è il violetto. Di rado si vedono tre archi; la teoria indica che ve ne ponno essere anche più di tre, ma i loro colori sono sì deboli che sfuggono alla vista.

L'arcobaleno è prodotto dalla decomposizione che subisce la luce solare bianca entrando nelle gocce di pioggia, e dalla sua riflessione sulla loro faccia interna. Questo fenomeno si osserva infatti anche nelle gocce di rugiada, nei getti d'acqua, insomma ogni qual volta la luce solare penetra in gocce d'acqua sotto un certo angolo.

L'apparizione dell'arcobaleno e la sua estensione dipendono dalla posizione dell'osservatore e dall'elevazione del sole sull'orrizzonte; d'onde si deve conchiudere che non tutti i raggi rifratti dalle gocce di pioggia e riflessi dalla loro superficie concava verso l'occhio dello spettatore sono opportuni a produrre il fenomeno. Quelli

che possono cagionarlo hanno avuto il nome di *raggi efficaci*.

Per intendere quest'attitudine dei raggi, si immagini una goccia d'acqua *n* (fig. 614) nella quale penetri un raggio solare *Sa*. Al punto d'incidenza *a*, una parte della luce si riflette sulla superficie del liquido, l'altra vi penetra e si decompone, mentre attraversa il globetto nella direzione *ab*. Giunta in *b*, una parte della luce emerge dalla goccia di pioggia, l'altra si riflette sulla superficie concava e si presenta in *g* per emergerne. In questo punto la luce è ancora riflessa in parte; la rimanente emerge in una direzione *gO*, la quale fa col raggio incidente *Sa* un angolo, che chiamasi *angolo di deviazione*. Questi raggi, che, come il *gO*, emergono dal lato dell'osservatore,

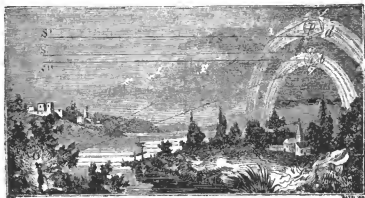



Fig. 614.

purchè la luce abbia sufficiente intensità, determinano sulla retina la sensazione dei colori.

Ora, il calcolo dimostra che per una serie di raggi paralleli incidenti sopra una medesima goccia e riflessi nel suo interno soltanto una volta, l'angolo di deviazione cresce successivamente dal raggio *Sn'*, pel quale è nullo, fino ad un certo limite oltre il quale esso decresce, e che a questo limite i raggi entrati tra loro paralleli in una goccia d'acqua ne emergono conservando il parallelismo. Atteso questo parallelismo, si ha un fascio di luce emergente che possiede intensità bastante a produrre impressione sulla retina; epperò i raggi efficaci sono quelli che emergono paralleli tra loro.

Siccome i diversi colori che compongono la luce bianca

sono disegualmente rifrangibili, così la deviazione massima non è la stessa per tutti. Il calcolo mostra che pei raggi rossi il valore dell'angolo di deviazione corrispondente ai raggi efficaci è di 42° 2', e pei violetti è di 40° 17'. Ne segue che da tutte le gocce collocate in modo che i raggi diretti dal sole alla goccia facciano con quelli che vanno dalla goccia all'occhio un angolo di 42° 2', quest'organo riceve l'impressione del colore rosso; il che si avvera evidentemente per tutte le gocce situate sulla circonferenza della base d'un cono il cui vertice coincida coll'occhio dell'osservatore, il cui asse sia parallelo ai raggi solari e l'angolo compreso da due generatrici opposte sia di 84° 4'. Così si forma la zona rossa dell'arcobaleno. Per la violetta l'angolo del cono è di 80° 34'.

I coni corrispondenti alle varie zone hanno tutti lo stesso asse, che dicesi *asse di visione*. Siccome questa retta è parallela ai raggi solari, ne segue che, quando quest'astro è all'orizzonte, l'asse di visione è orizzontale e l'arcobaleno apparisce in forma di una mezza circonferenza. Se il sole si eleva, l'asse di visione si abbassa, e insieme con esso anche l'arcobaleno. Finalmente, quando il sole è elevato di 42° 2' l'arco sparisce affatto sotto l'orizzonte. Perciò il fenomeno dell'arcobaleno non avviene quando il sole è molto elevato sull'orizzonte.

Tutto ciò che precede si applica all'arco interno. L'arco esterno è formato da raggi che hanno subìto due riflessioni, come lo mostra il raggio S'*idfe*O nella goccia *p*. L'angolo S'IO, formato dal raggio emergente col raggio incidente, chiamasi ancora angolo di deviazione. In tal caso quest'angolo non è più suscettibile di un massimo, ma di un minimo che varia per ogni specie di raggi, ed al quale corrispondono ancora i raggi efficaci. Per mezzo del calcolo si riconosce che pei violetti l'angolo minimo è di 54°, 7', e pei rossi è soltanto di 50° 57'; il che dimostra come l'arco rosso qui sia interno ed il violetto esterno. Siccome ad ogni riflessione interna nella goccia di pioggia avviene una perdita di luce, l'arcobaleno esterno presenta sempre delle tinte meno vivaci dell'interno. L'arco esterno cessa d'essere visibile quando il sole è elevato più di 54° al di sopra dell'orrizzonte.

La luna produce essa pure delle iridi, come il sole, ma molto pallide.

772. **Aurora boreale.** — Si chiama *aurora boreale* o piuttosto *aurora polare* un fenomeno luminoso notabilis-

simo, che appare di frequenti nell'atmosfera ai due poli terrestri. Quando si produce al polo nord, il fenomeno prende il nome di *aurora boreale*, e chiamasi *aurora australe*, quando si presenta al polo sud. Le aurore boreali furono vedute più di frequente che le australi, ma forse soltanto perchè si ebbe maggiore opportunità di osservarle. Dal Trattato di Meteorologia di Becquerel caviamo la seguente descrizione di una aurora boreale osservata a Bossekop nella Lapponia novergiana, a 70° di latitudine, nell'inverno dal 1838 al 1839.

« Di sera, tra le 4 e le 8 ore, il nebbione, che regna abitualmente al nord di Bossekop, si colora alla sua parte superiore. Questo lucore diventa più regolare e forma un arco indeterminato di un giallo pallido, colla concavità rivolta verso la terra e il cui vertice trovasi sensibilmente nel meridiano magnetico.

Ben tosto le parti luminose dell'arco vengono separate regolarmente da strie nerastre; si formano dei raggi luminosi che s'allungano e s'accorciano lentamente o rapidamente con improvvise alternative di maggiore o minore lucentezza. Le estremità inferiori di questi raggi mostrano sempre la luce più viva, e formano un arco più o meno regolare. La lunghezza dei raggi è assai varia, ma tutti convergono verso uno stesso punto del cielo, quello che è indicato dalla estremità boreale dell'ago d'inclinazione; talvolta i raggi si prolungano sino al loro punto di concorso e rappresentano gli spicchi di una cupola luminosa.

L'arco continua ad ascendere verso lo zenit, ed il suo chiarore presenta un movimento ondulatorio. Talvolta uno de'suoi piedi od anche ambedue abbandonano l'orizzonte. Allora le pieghe sono più pronunciate e più numerose; l'arco non è più che una lunga zona di raggi, che si contorna e si divide in parecchie parti formando delle curve graziose, le quali, ripiegandosi sopra sè stesse, costituiscono la così detta *corona boreale* (fig. 615). Lo splendore dei raggi, variando improvvisamente di intensità, giunge ad eguagliare quello delle stelle di prima grandezza; i raggi guizzano rapidamente, le curve si formano e si svolgono come le spire d'un serpente. In seguito i raggi si colorano; la loro base è rossa, il mezzo verde ed il restante conserva la sua tinta giallo-chiara. Finalmente, lo splendore scema, i colori spariscono e tutta l'apparenza luminosa si indebolisce a poco a poco, ovvero si estingue improvvisamente.

La commissione scientifica del nord ha osservato 150 aurore boreali in 200 giorni, ma sembra che ai poli le notti senza aurora polare siano affatto eccezionali, onde si può ammettere che ne avvenga in ogni notte, benchè con intensità assai varia. Le aurore polari sono visibili a grandi distanze dal polo e sopra una immensa estensione. Talvolta una stessa aurora boreale fu veduta contemporaneamente a Mosca, a Varsavia, a Roma ed a Cadice.

Furono fatte molte ipotesi sulla causa delle aurore boreali. La direzione costante dei loro archi rispetto al meridiano magnetico e le perturbazioni che esse cagionano

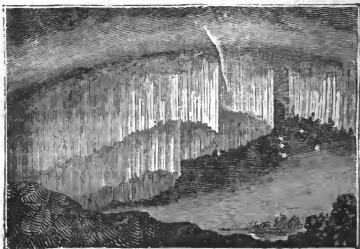



Fig 615.

nelle bussole (561) mostrano che si devono attribuire a correnti elettriche, le quali si svolgono dai poli verso le alte regioni dell'atmosfera. Questa ipotesi è confermata dal fatto osservato il 29 agosto e il 1° settembre 1859, in Francia e in quasi tutta l'Europa, che due brillanti aurore boreali hanno agito energicamente sui fili dei telegrafi elettrici; i campanelli pei segnali vennero per lungo tempo agitati e i dispacci più volte interrotti dallo spontaneo e irregolare movimento degli apparati.

Secondo De la Rive, le aurore boreali sarebbero prodotte da scariche elettriche che avvengono nelle regioni polari tra l'elettricità positiva dell'atmosfera e la negativa del globo terrestre, le quali vengono separate dall'azione solare, principalmente nelle regioni equatoriali.

773. **Temperature medie.** — Chiamasi *temperatura media* o semplicemente *temperatura* di un giorno quella che si ottiene sommando 24 osservazioni termometriche fatte successivamente di ora in ora e dividendo la somma per 24. L'esperienza mostrò che si ottiene assai prossimamente questa temperatura prendendo la media tra la temperatura massima e la minima del giorno e della notte, le quali si determinano per mezzo dei termometri a massimo ed a minimo (247). Questi termometri devono trovarsi ben difesi dai raggi solari, elevati al di sopra del suolo e lontani da tutti i corpi che potessoro esercitare su di essi un'influenza col loro irradiamento.

La temperatura media di un mese è la media di quelle dei suoi 30 giorni, e la temperatura media dell'anno è la media di quelle dei dodici mesi. Finalmente, la temperatura di un luogo è la media delle sue temperature annue in un gran numero di anni. In tutti i casi però si considerano le temperature dell'aria e non quelle del suolo (391).

774. **Cause che modificano la temperatura dell'aria.** — Le cause che fanno variare la temperatura dell'aria sono principalmente la latitudine, l'elevazione, la direzione dei venti e la vicinanza dei mari.

1.° *Influenza della latitudine.* L'influenza della latitudine risulta dalla maggiore o minore obliquità dei raggi solari, perchè, siccome la quantità di calorico assorbita è tanto maggiore quanto più s'accostano i raggi alla direzione d'incidenza normale (364), ne risulta che la quantità di calorico assorbita dal suolo decresce dall'equatore verso i poli, essendo i raggi sempre più obliqui verso l'orizzonte. Però questa perdita è compensata in parte, nelle zone temperate e nelle glaciali, dalla lunghezza dei giorni in estate. Sotto l'equatore, ove la lunghezza dei giorni è costante, la temperatura è pressochè invariabile; alla latitudine di Parigi, ed anche nelle regioni più settentrionali, dove i giorni sono assai ineguali, la temperatura varia moltissimo; ma in estate giunge talvolta a pareggiare quella dei paesi equatoriali.

Del resto l'abbassamento di temperatura che risulta dalla latitudine non è sensibile che a grandi distanze. In Francia, per esempio, bisogna avanzarsi verso il nord 185 chilometri per trovare un abbassamento di un grado nella temperatura media dell'aria.

2.° *Influenza dell'altitudine.* L'altitudine di un luogo, cioè la sua altezza al di sopra del livello dei mari, fa decrescere la temperatura dell'atmosfera molto più rapidamente che non la variazione di latitudine. Infatti, in una salita sul Monte Bianco, Saussure osservò un abbassamento di temperatura di un grado per un'elevazione di 144 metri, e Humboldt sul Chimborazo trovò un grado di abbassamento per ogni 218 metri. Prendendo la media tra questi due numeri si ha un raffreddamento di un grado per una elevazione di 181 metri; epperò il decremento proveniente dall'altitudine è mille volte più rapido di quello prodotto dalla variazione di latitudine.

La legge dell'abbassamento della temperatura di mano in mano che si sale nell'atmosfera non è conosciuta, a motivo delle numerose cause perturbatrici che tendono a modificarla, quali sono i venti dominanti, il grado di umidità, l'ora della giornata, ecc. L'esperienza ci mostra che quantunque la differenza di temperatura di due luoghi disegualmente elevati non sia precisamente proporzionale alla differenza di livello, pure per differenze di altezza non molto grandi si può ammettere approssimativamente questa legge. Si valuta in media l'abbassamento di temperatura di 1° per ogni 187m nella zona torrida, e di 1° per ogni 150m nella zona temperata; ma questi numeri possono essere assai lontani dal vero a norma delle circostanze locali.

Il raffreddamento dell'aria, esplorata in regioni sempre più elevate dell'atmosfera, si constata nelle ascensioni aerostatiche, ed è dimostrato anche dall'esistenza delle nevi perpetue che coprono le vette degli alti monti. Nelle Alpi il limite delle nevi perpetue si trova alla altezza di 2710 metri. Le cause del freddo che domina nelle alte regioni dell'atmosfera sono: 1° la grande rarefazione dell'aria per cui il suo potere assorbente è diminuito; 2° la distanza dal suolo il quale non può ivi scaldare l'aria pel suo contatto; 3° la grande facoltà diatermica dei gas (366); 4° finalmente, la diminuzione di pressione, in conseguenza della quale l'aria calda e i vapori che si innalzano dal suolo si dilatano assai, nella quale dilatazione si ha una sorgente di intenso freddo (403).

3.° *Influenza della direzione dei venti.* Siccome i venti partecipano necessariamente della temperatura delle regioni che hanno attraversate, la loro direzione, in uno stesso luogo, ha una grande influenza sulla temperatura

dell'aria. A Parigi il vento più caldo è quello del sud, poi vengono quelli di sud-est, di sud-ovest, est, nord-ovest, nord e da ultimo quello di nord-est, che è il più freddo. Del resto il carattere dei venti varia colle stagioni; il vento di est, per esempio, che è freddo d'inverno, è caldo in estate.

4.° *Influenza della vicinanza dei mari.* La vicinanza dei mari tende ad elevare la temperatura dell'aria ed a renderla più uniforme. Infatti, si osserva che sotto i tropici, e meglio ancora nelle regioni polari, la temperatura dei mari è sempre più elevata di quell'atmosfera. Riguardo all'uniformità della temperatura dei mari l'esperienza insegna che nelle regioni temperate, cioè da 25° a 50° di latitudine, la differenza di temperatura, tra la massima e la minima diurna, non supera, in mare, 2 o 3 gradi, mentre sui continenti questa differenza può giungere fino a 12 o 15 gradi. Nelle isole l'uniformità di temperatura e assai sensibile anche nella stagione del maggiore caldo. Nell'interno dei continenti, a pari latitudine, l'inverno è più freddo, e la differenza tra la temperatura dell'estate e quella dell'inverno è maggiore.

775. **Linee isotermiche.** — Unendo tra loro sopra una carta geografica, o meglio sopra un globo terrestre, tutti i punti che hanno la stessa temperatura media, si hanno delle curve che furono fatte conoscere per la prima volta da Humboldt sotto il nome di *linee isotermiche.* Se la temperatura di un luogo non variasse che in ragione della obliquità dei raggi solari, cioè in ragione della latitudine, le linee isotermiche sarebbero tutte parallele all'equatore; ma siccome dipende da parecchie cause locali, e particolarmente dall'altitudine, queste linee sono sempre più o meno sinuose; sui mari però esse sono quasi parallele. Lo spazio compreso tra due linee isotermiche si chiama *zona isotermica.* Si possono tracciare similmente delle *linee isotere* (di eguale estate), e delle *linee isochimene* (di eguale inverno).

Le figure 616 e 617 rappresentano le sinuosità delle linee isotermiche nei due emisferi boreale e australe disegnati in projezione stereografica sul piano dell'equatore. Queste due carte sono ridotte a circa $^2/_5$ da quelle pubblicate da Gide nell'atlante del *Cosmos* di Humboldt; le linee isotermiche segnate corrispondono alle temperature di 5 in 5 gradi da — 15 gradi fino a + 25. V'è inoltre *l'equatore termico,* cioè la linea che congiunge tutti i punti che hanno la più alta temperatura media annua. Questa

linea, segnata + 28°, si vede che non è parallela all'equatore ma se ne allontana nel golfo di Oman fin verso il parallelo di 15°; poi passa nell'emisfero australe alle

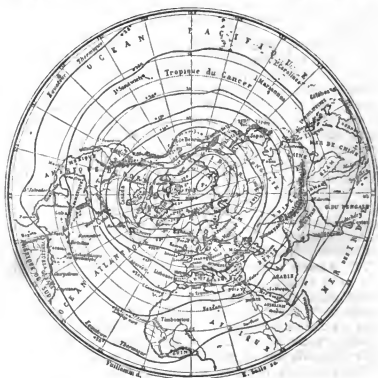



Fig 616.

isole Celebi, si avvicina alle isole Salomon e torna ad intersecare l'equatore a 157° di longitudine occidentale.

La figura 616 fa vedere che le linee isotermiche, accostandosi al polo boreale, si stendono sempre più da levante a ponente, e che al là della linea — 15° avviene uno smenbramento in due curve distinte che cingono i due punti P, P' i quali vennero denominati *poli di freddo*, la cui temperatura media Arago valutò, col calcolo, di — 25°. Uno di questi poli è situato in America presso alle isole Parry, l'altro in Asia.

Le linee isotermiche dell'emisfero australe sono meno conosciute di quelle dell'emisfero boreale; la figura 617 però mostra come esse siano molto più regolari, il che dipende dal trovarsi in quell'emisfero più vasti mari.

Per mezzo delle linee isotermiche è facile il riconoscere, sulla superficie della terra, le differenti zone contraddistinte dal rigore e dalla mitezza della loro temperatura media. Per esempio, la zona temperata da + 10 a +

Fig. 617.

15 gradi, la quale, in Europa, è compresa tra le latitudini da 50 a 42 gradi, nell'America settentrionale, invece, trovasi tra le latitudini da 40 a 36 gradi.

776. **Climi**. — S'intende per *climi* un certo numero di zone isotermiche caratterizzate dalla loro temperatura media annua, dalle loro temperature estive e jemali, e dai limiti entro cui sono comprese queste temperature. Si distinguono sette climi classificati secondo le loro temperature medie, cioè; 1.° clima ardente, da 27°,5° a 25; — 2.° clima caldo, da 25° a 20°; — 3.° clima dolce, da 20° a 15°; — 4.° clima temperato, da 15° a 10°; — 5.° clima freddo, da 10° a 5°; — 6.° clima freddissimo, da 5° a 0°; — 7.° clima gelato, al di sotto di 0°.

Questi stessi climi si dividono in *climi costanti*, nei nei quali la differenza di temperatura tra l'inverno e l'estate non sorpassa 6 od 8°; *climi variabili*, nei quali questa differenza ascende a 16 ovvero 20°, e *climi eccessivi* pei quali questa differenza è maggiore di 30°. I climi di Parigi e di Londra sono variabili; quelli di Pechino e di Nuova-Jork sono eccessivi. I climi delle isole sono generalmente poco variabili, perchè la temperatura del mare è pressochè costante; d'onde anche la distinzione di *climi marini* e *climi continentali*. Il carattere dei climi marini è che la differenza tra la temperatura dell'estate e quella dell'inverno risulta molto minore che nei climi continentali.

Del resto la temperatura più o meno alta non è il solo carattere che determina i climi: vi influiscono l'umidità maggiore o minore dell'aria, la quantità e frequenza delle pioggie, il numero dei temporali, la direzione e la forza dei venti non che la natura del suolo. Per questo complesso di cause lo studio dei climi o *climatologia* è una scienza fino ad ora poco conosciuta.

777. **Distribuzione della temperatura alla superficie del globo**. — La temperatura dell'aria, alla superficie del globo è soggetta a cause perturbatrici numerose e locali in modo che la sua ripartizione non sembra vincolata ad alcuna legge generale. Fino ad ora non si è potuto far altro che constatare con moltissime osservazioni la temperatura media di ciascun luogo, ovvero la temperatura massima e la minima. La seguente tavola presenta un riassunto della distribuzione del calore nell'emisfero settentrionale.

Temperature medie a differenti latitudini.

Abissinia	31°,0	Parigi	10°,3
Calcutta	28°,5	Londra	10°,4
Giamaica	26°,1	Bruselle	10°,2
Senegal (San Luigi)	24°,6	Strasburgo	9°,8
Rio-Janeiro	23°,1	Ginevra	9°,7
Cairo	22°,4	Boston	9°,3
Costantina	17°,2	Stocolma	5°,6
Napoli	16°,7	Mosca	3°,6
Messico	16°,6	Pietroburgo	3°,5
Marsiglia	14°,1	Monte S. Gottardo	— 1°,0
Costantinopoli	13°,7	Mare di Groenlandia	— 7°,7
Pechino	12°,7	Isola Melville	— 18°,7
Milano	11°,4		

Le temperature qui notate sono le medie: la più elevata temperatura che siasi osservata sulla superficie della

terra fu di 47°,4, ad Esne, in Egitto, e la più bassa di — 56°,7, a Fort-Reliance, al nord dell'America; onde si ha una differenza di 104°,1 tra la temperatura più alta e la più bassa di quelle che siansi osservate sui diversi punti della superficie del globo.

La più elevata temperatura che siasi osservata a Parigi fu di 38°,4 il giorno 8 luglio 1793, e la più bassa, di — 23°,5 il 26 dicembre 1798.

778. **Temperatura dei laghi, dei mari e delle sorgenti.** — La temperatura del mare, fra i tropici, è generalmente quasi eguale a quella dell'aria; nelle regioni polari il mare è sempre più caldo dell'atmosfera.

La temperatura del mare, sotto la zona torrida, è costantemente di 26 o 27° alla superficie e minore al di sotto; a grandi profondità, tanto nelle regioni tropicali quanto nelle temperate, la temperatura del mare si conserva fra 2°, 5 e 3° 5. La bassa temperatura degli strati inferiori proviene dalle correnti sottomarine, le quali portano verso l'equatore l'acqua fredda dei mari polari.

Sulle coste della Francia, alla latitudine di 47°, la temperatura della superficie del mare, osservata nel mese di luglio 1842, era di 23°, mentre quella dell'aria era di 32°.

La temperatura dei laghi presenta delle variazioni molto maggiori di quella dei mari; la loro superficie, la quale può gelare in inverno, si scalda in estate sino a 20° o 25°. Il fondo, al contrario, conserva sempre sensibilmente una temperatura di 4°, che è quella del massimo di densità dell'acqua (268).

Le sorgenti, come quelle che provengono da acque pluviali che si sono infiltrate nella corteccia del globo a profondità più o meno considerabili, tendono necessariamente a mettersi in equilibrio di temperatura cogli strati terrestri che attraversano (391). Per conseguenza, quando giungono alla superficie del suolo, la loro temperatura dipende dalla profondità a cui sono giunte; se questa profondità è quella dello strato invariabile, la temperatura delle sorgenti è di 11° o 12° nei nostri paesi, dove tale appunto è la temperatura di questo strato ed anche la media temperatura annua. Però, se la sorgente è poco ricca, la sua temperatura è innalzata in estate ed abbassata in inverno da quella degli strati che attraversa per giungere dallo strato invariabile alla superficie del suolo. Ma se le sorgenti provengono da una profondità maggiore di quella dello strato invariabile, la loro temperatura può superare

di molto la media del luogo, ed allora prendono il nome di *acque termali*. Ecco la temperatura di alcune acque termali:

In Francia, Vichy . . . . 40°
Mont-Dore . . . . 44°
Bourbonne . . . . 50°
Dax . . . . 60°
Chaudes-Aigues . . . . 88°
In America, Trincheras presso a Puerto-Cabello 97°
In Islanda, il Grand-Geyser, a 20m di profondità, cioè sotto una pressione di 3 atmosfere . . . . 140°

Le acque termali, in causa della elevata loro temperatura, hanno la proprietà di sciogliere parecchie delle sostanze minerali che incontrano nel loro tragitto, ed allora si denominano *acque minerali*. Le sostanze che tengono in soluzione sono, per lo più, gli acidi carbonico, solforoso, solfidrico, cloridrico, solforico; ovvero dei solfuri, dei solfati, dei carbonati, dei cloruri, degli ioduri.

La temperatura delle acque termali non è modificata, in generale, dalla abbondanza delle pioggie o dalla siccità; invece è modificata dai terremoti, in seguito ai quali si è veduta ora crescere ora scemare.

779. **Distribuzione delle acque alla superficie del globo.** — La distribuzione delle acque alla superficie del globo esercita una grande influenza sui climi. Le acque presentano una superficie molto maggiore di quella dei continenti, e la distribuzione è assai ineguale nei due emisferi.

Infatti, mentre la superficie del globo è di 5,100,000 miriametri quadrati, si trova che quella dei mari e dei laghi è di 3,700,000 miriametri quadrati, e quella dei continenti e delle isole soltanto di 1,400,000; cioè che la superficie delle acque è all'incirca tripla di quella delle terre. Nell'emisfero australe la superficie dei mari supera quella che trovasi nell'emisfero boreale, nel rapporto di 13 a 9.

La profondità dei mari è assai varia. Generalmente, lo scandaglio trova fondo a 300 o 400 metri. Ma in alto mare scende spesso sino a 1200 metri, e talvolta non lo trova nemmeno alla profondità di 4000 metri.

In base a questi numeri si può supporre che la massa totale delle acque esistenti sulla superficie del globo non è maggiore di quella di uno strato liquido che cingesse tutta la terra ed avesse 1000 metri di altezza.

FINE.

APPENDICE

PROBLEMI

RELATIVI A PARECCHIE PARTI DELLA FISICA,
COLLE LORO SOLUZIONI (*).

Pesi specifici dei solidi e dei liquidi.

I. La grande piramide di Egitto è a base quadrata: il lato di questa base è di $234^m,8$ e l'altezza primitiva al disopra del suolo era di $146^m,18$. Si domanda il peso di questa piramide, ammettendo che sia massiccia e che la pietra di cui è formata abbia il peso specifico 2,75.

Chiamando V il volume e P il peso, si ha

$$V = (234,8)^2 \times \frac{146,18}{3}$$, e quindi dalla formola $P = VD$ (**)

si ha: $P = (234,8)^2 \times \frac{146,18}{3} \times 2,75 \times 1000 = 7\ 387\ 487\ 4''5$ chil.

(*) Anche in questa edizione, seguendo l'Autore nella scelta dei problemi, si sono però disposti i medesimi con un ordine talvolta diverso, in guisa di cominciare in ciascuna serie dai più semplici. (*Nota del Traduttore*).

(**) Nelle applicazioni della formola $P = VD$ importa ricordarsi che, come si disse al § 106, allorquando V sia misurato in decimetri cubi, P deve essere valutato in chilogrammi, o quando V sia misurato in centimetri cubi, il peso P è misurato in grammi. Reciprocamente, se valutasi P in chilogrammi od in grammi, V deve ritenersi espresso rispettivamente in decimetri od in centimetri cubi. Finalmente, se il volume V fosse misurato in metri cubi, ogni unità di P corrisponderebbe a 1000 chilogrammi, perchè, essendo contenuti in un metro cubo 1000 decimetri cubi, un metro cubo d'acqua pesa 1000 chilogrammi, od un metro cubo di una sostanza il cui peso specifico sia 2, 3. . . pesa 2, 3. . volte 1000 chilogrammi.

Si deve altresì osservare che la formola $P = VD$ non può essere applicata immediatamente ai gas. Perciò nei problemi in cui si tratterà di calcolare il peso di un certo volume di gas, si dovrà dapprima determinare il peso di un egual volume d'aria, partendo dal dato che un litro d'aria a zero o alla pressione $0^m,76$ pesa $1^{gr},3$ poi moltiplicare il peso ottenuto per la densità del gas di cui si tratta; poichè la densità o il peso specifico di un gas non è altro che il rapporto tra il peso del gas e quello dell'aria a parità di condizioni.

II. Si domanda quale è il volume e quale il peso di un rullo cilindrico di legno di rovere del diametro di $0^m,3$ e della lunghezza di $2^m,5$, ammettendo che il peso specifico del legno di rovere sia 1,17.

Denominando V il volume, R il raggio della base, H la lunghezza del rullo, si ha $V = \pi R^2 H = 3,141592 \times 2,25 \times 25 = 176^{dec. cub.},71$; e, indicando con P il suo peso, dalla formola $P = VD$ (§ 106), si ha
$$P = 176,71 \times 1,17 = 206^{ch.},76.$$

III Si domanda quale è il diametro di un cilindro di ferro dell'altezza di $2^m,50$ e del peso di 21 chilogrammi, sapendosi che il peso specifico del ferro è 7,788.

Rappresentando con R il raggio del cilindro, con H la sua altezza, con P il suo peso totale, con D il peso specifico del ferro, si ha

$$P = \pi R^2 HD, \text{ da cui } R = \sqrt{\frac{P}{\pi HD}};$$

$$\text{e, sostituendo, si ha } R = \sqrt{\frac{21}{611,6695}} = \sqrt{0,0343} = 0^{dec.},1 \text{ʒ}.$$

IV. Un cilindro di ferro della lunghezza di $2^m,55$ pesa 41 chilogrammi: sapendo che il peso specifico del ferro è 7,788, si domanda quale è il diametro della sezione perpendicolare all'asse del cilindro.

La sezione è $\frac{V}{H} = \frac{P}{DH} = \frac{41}{7,788 \times 25,5}$; ma essa è anche espressa da $\frac{\pi D^2}{4}$; dunque si ha $\frac{\pi D^2}{4} = \frac{41}{7,788 \times 25,5}$, da cui $D = 0^m,6512$.

V. L'altezza di un cilindro cavo, misurata internamente, è di 369 millimetri, e il suo diametro, pure interno, è di 246 millimetri; si domanda il peso dell'alcoole che empie questo cilindro, sapendosi che il peso specifico dell'alcoole è 0,863.

La formola $P = VD$ dà
$$P = \pi R^2 HD = 3,1416 \times (1,23)^2 \times 3,69 \times 0,8^{\prime}3 = 15^{chil.},136^{gr.},5$$

VI. Quale diametro ha un filo di platino il cui peso è di 28 grammi per ogni metro di lunghezza, supposto il peso specifico del platino eguale a 22,06?

Si chiami V il volume di un metro in lunghezza del filo; si avrà in centimetri cubi $V = \pi r^2 \times 100$, e il peso di questa parte di filo sarà $\pi r^2 \times 100 \times 22,06 = 28$, quindi $r^2 = \frac{0,28}{3,1416 \times 22,06} = 0,00404$ ed $r = 0^{cent.},0635$. Perciò il diametro è di $0^{cent.},127$.

VII. Si ha un vase cilindrico il cui diametro interno è di $0^m,25$; vi si versano 30 chilogrammi di mercurio il cui peso specifico è 13,6 e 2 chilogrammi di alcool il cui peso specifico è 0,79. Si domanda a quale altezza giungeranno nel vase questi due liquidi.

Si chiami R il raggio interno del vase cilindrico, x l'altezza dell'alcool ed y quella del mercurio.

Giusta la formola nota $P = VD$, si ha pel volume dell'alcool $\frac{P}{D} = \frac{2}{0,79}$, e per quello del mercurio $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,6}$. Ma questi volumi sono anche rappresentati rispettivamente da $\pi R^2 x$ e $\pi R^2 y$; dunque si ha $\pi R^2 x = \frac{2}{0,79}$ e $\pi R^2 y = \frac{30}{13,6}$ quindi $x + y = \frac{1}{\pi R^2}\left(\frac{1}{0,79} + \frac{15}{13,6}\right) = 0^m,0965$.

VIII. In un tubo capillare si ha una colonna di mercurio alla temperatura zero e del peso di un grammo; si domanda quale è il diametro del tubo, sapendo che la lunghezza della colonna è di $0^m,137$ e che il peso specifico del mercurio è 13,598.

Ritenute le denominazioni del problema precedente e detta H la lunghezza della colonna, si ha

$$P = \pi R^2 HD, \text{ quindi } R = \sqrt{\frac{P}{\pi HD}} = \sqrt{\frac{1}{3,1416 \times 13,7 \times 13,598}}$$

e perciò $R = 0^{cent.},0413$, e il diametro $= 0^m,000826$

IX. Un vase cilindrico di zinco della capacità di un litro ha l'altezza interna doppia del suo diametro pure interno, e la grossezza delle sue pareti è $0^m,005$: si domanda il peso di questo vase, sapendosi che il peso specifico dello zinco è 7,19.

» Denominando r il semidiametro ed H l'altezza del vase, la capacità del medesimo è $\pi r^2 H$, e siccome $H = 4r$, così la capacità è $4\pi r^3$. Ora, questa capacità è di 1 litro, dunque $4\pi r^3 = 1$, d'onde

$$r = \sqrt[3]{\frac{1}{4 \times 3,1416}} = \sqrt[3]{0,079577} = 0^{dec.},430 \text{ ed } H = 1^{dec.},72.$$

Chiamando R il semidiametro esterno e V il volume dello zinco che forma la parete laterale, escluso il fondo, si ha

$V = \pi H(R^2 - r^2) = 3,1416 \times 1,72 \times 0,0455 = 0^{dec. cub.},245861$

il volume del fondo poi è eguale a $\pi R^2 \times 0,05 = 0^{dec. cub.},036191$, dunque il volume totale dello zinco è

$0,245861 + 0,036191 = 0^{dec. cub.},282052$, e quindi il peso

$P = 0,282052 \times 7,19 = 2^{chil.},027954.$

X. Quale è il prezzo di un tubo di ghisa del diametro interno di $9^m,245$, della grossezza di $0^m,014$ e della lunghezza di 3134^m, supposto che il peso specifico della ghisa sia 7,207 ed il prezzo di ogni chilogrammo sia di $0^{fr.}20$.

Denominando R ed r i raggi esterno ed interno del tubo, H la sua lunghezza, il volume totale della ghisa è

$V = \pi H(R^2 - r^2) = 3,1416 \times 2134 \times 0,003626 = 24^{met. cub.},309336.$

Il peso poi è $= 24,309336 \times 7,207 \times 1000 = 175197^{chil.},255$, e il prezzo $= 35039^{fr.},48.$

XI. Un filo cilindrico d'argento del diametro di $0^m,0015$ pesa $3^{gr.},2875$: si vuole coprirlo di uno strato d'oro della grossezza di $0^m,0004$, e si domanda il peso dell'oro occorrente, sapendo che il peso specifico dell'argento è 10,47 e quello dell'oro 19,26.

Si chiami r il raggio del cilindro d'argento ed R il raggio dello stesso filo dopo che è coperto d'oro: si ha

$r = 0^{cent.},075$, R $0^{cent.},095$ ed $r^2 = 0^{cent. qu.},005625$; $R^2 = 0^{cent. qu.},009025$

Volume del cilindro d'argento $= \pi r^2 H = 0,0176715H$, dove H indica la lunghezza del filo.

Peso del medesimo $= 0,0176715 \times 10,47 \times H = 3^{gr.}2875$, quindi $H = 17^{cent.},768$.

Volume dello strato d'oro $= \pi H (R^2 - r^2) = 3,1416 \times 17,768 \times 0,0034 = 0^{cent. cub.},189787$, e perciò il peso dell'oro $P = VD = 3^{gr.},655$.

XII. Un bicchiere conico ha la capacità di un litro; il diametro del suo lembo superiore è di $0^m,25$. Esso è empito con pesi eguali di acqua e di

mercurio. Si domanda la grossezza dello strato d'acqua, sapendosi che il peso specifico del mercurio è 13,598.

Si chiami V il volume totale del cono, H la sua altezza, R il raggio della sua base, v il volume dell'acqua, v' il volume del mercurio, h ed h' le altezze rispettive di questi due liquidi nel vase, e d il peso specifico del mercurio: si ha

$$V = \frac{1}{3}\pi R^2 H \quad (1);\; v + v' = 1 \quad (2) \text{ e } v = v'd \quad (3).$$

Dall'equazione (1), ponendovi $V = 1$, ed $R = 0,125$, si cava $H = 0,06111$, e le equazioni (2). e (3) danno $v' = 0^{lit.},068502$ e $v = 9^{lit.},931498$.

Ora i volumi V e v', essendo di coni simili, stanno tra loro come i cubi delle altezze, cioè $\frac{V}{v'} = \frac{H^3}{h'^3}$, da cui

$$h' = H\sqrt[3]{v'} = 6^c,111\sqrt[3]{0,068512} = 2^c,4994 \text{ ed } h = H - h' = 3^c,6116.$$

XIII. Un bicchiere di forma conica, come quello rappresentato dalla figura 618, il cui diametro superiore md è di $0^m,06$, è empito con mercurio, acqua ed olio in proporzioni tali che ognuno di questi liquidi forma una falda della grossezza di $0^m,05$. Si domanda quali siano i pesi del mercurio, dell'acqua e dell'olio, supposto che si trascuri l'influenza della temperatura sulle densità e si ammetta il peso specifico del mercurio eguale a 13,596, quello dell'olio a 0,915.

Fig 618.

Secondo l'enunciato, si ha $om = 3^{cent.}$; $ok = ki = ia = 5^{cent.}$. Ma, essendo simili i triangoli oma, kna, ipa, ne segue che

$$ip = \frac{1}{3}\ om = 1^{cent.},\ \text{e } kn = \frac{2}{3}\ om = 2^{cent.}$$

Ciò posto, il mercurio occupa la parte inferiore e al disopra di esso trovasi l'acqua, indi l'olio (§ 88). Il volume del cono abp di mercurio è eguale a $\pi\,\overline{ip}^2 \times \frac{ai}{3} = \frac{3,1416 \times 1 \times 5}{3} = 5^{cent.\ cub.},236.$

I volumi dell'acqua e dell'olio sono quelli dei tronchi di cono la cui misura è data dalla formola $\pi\ (R^2 + r^2 + Rr) \times \frac{H}{3}$, dove R ed r sono i raggi delle basi ed H l'altezza. Adunque il volume $bcnp$ di acqua sarà

eguale a $\frac{3,141592 \times 5}{3}$ $(4 + 1 + 2) = 36^{\text{cent. cub.}}, 652$ e il volume del tronco di cono d'olio *cdmn* è eguale a

$$\frac{3,141592 \times 5}{3} (9 + 4 + 6) = 99^{\text{cent. cub.}}, 484.$$

Conoscendo i volumi, si troveranno i pesi domandati moltiplicando, giusta la formola P = VD, il volume di ciascun liquido pel corrispondente peso specifico. Per tal guisa si trova che il peso del mercurio è $5,236 \times 13,596 = 71^{\text{gr.}},188$; quello dell'acqua $36,652 \times 1 = 36^{\text{gr.}},652$ e quello dell'olio $99,484 \times 0,915 = 91^{\text{gr}},027$.

XIV. Un vase conico, disposto col vertice in basso e coll'asse verticale, ha il diametro della base di 8 centimetri e l'altezza di 12: esso è pieno di mercurio e d'acqua in tali proporzioni che il peso del mercurio è triplo di quello dell'acqua, e i due liquidi hanno la temperatura zero. Si domanda l'altezza di ciascuno dei due liquidi, sapendosi che il peso specifico dell'acqua è 1 e quello del mercurio 13,598.

Fig 619.

Volume totale $= \frac{1}{3} \pi R^2 H$ (fig. 619); volume del mercurio $= \frac{1}{3} \pi r^2 y d$; volume dell'acqua $= \frac{1}{3} \pi (R^2 H - r^2 y)$.

Il peso del mercurio è dunque $\frac{1}{3} \pi R^2 y d$, e quello dell'acqua $\frac{1}{3} (\pi R^2 H - r^2 y)$.

Ora, giusta l'enunciato, si deve avere:

$$\frac{1}{3} r^2 y d = R^2 H - r^2 y, \text{ da cui } y = \frac{3R^2 H}{r^2(d+3)} = \frac{R^2}{r^2} \cdot \frac{3H}{d+3}.$$

$$\text{Ora, } \frac{R^2}{r^2} = \frac{H^2}{y^2} = \frac{144}{y^2}; \text{ dunque } y = \frac{144}{y^2} \cdot \frac{36}{16,598}, \text{ da cui}$$

$$y = \sqrt[3]{\frac{144 \times 36}{16,598}} = 0^{m},0678 \text{ ed } H - y = 0^{m},0522.$$

XV. Due vasi conici di pesi eguali hanno l'altezza di $0^{m},25$ misurata internamente e il diametro pure interno di $0^{m},12$ al labbro superiore; l'uno

è pieno di acido solforico, il cui peso specifico è 1,84, e l'altro di etere, il cui peso specifico è 0,71. Si domanda quale è la differenza di peso dei due vasi quando sono pieni come fu supposto.

Si ha $V = \frac{\pi R^2 H}{3} = \frac{3.1416 \times 36 \times 25}{3} = 942^{\text{cent. cub.}},48$

Per l'acido solforico si ha $P = 942,48 \times 1,84$

Per l'etere. . . . . $P' = 942,48 \times 0,71$

e perciò la differenza è di

$$P - P' = (1,84 - 0,71) \times 942,48 = 1^{\text{chil.}}0{,}65^{\text{gr.}}$$

XVI. Si ha una sfera di rame del raggio di $0^{\text{m}},18$, cava, e contenente una sfera di platino del raggio di $0,^{\text{m}}05$, e si sa che tra le due sfere non trovasi alcuno spazio vuoto: si vuol sapere quale è il peso della massa totale così formata, conoscendosi che il peso specifico del platino è 21,50, e quello del rame 8,85.

Denominando r ed R i raggi interno ed esterno della sfera cava di rame, si ha

volume del platino $= \frac{4\pi r^3}{3}$; volume del rame $= \frac{4\pi(R^3 - r^3)}{3}$; peso del platino $= \frac{21,50 \times 4\pi r^3}{3}$; peso del rame $= \frac{8,85 \times 4\pi(R^3 - r^3)}{3}$. Somma dei pesi $= \frac{4\pi}{3}(21,5r^3 + 8,85R^3 - 8,85r^3) = 4,1888\,(12,65 \times (0,5)^3 + 8,85 \times (1,8)^3) = 222^{\text{chil.}},821$.

XVII. Una palla di ghisa pesa 12 chilogrammi: il peso specifico della ghisa è 7,35; si domanda quale è il raggio di questa palla e qual peso d'oro sia necessario per coprirla con uno strato della grossezza di $0^{\text{m}},00\ 6$, essendo il peso specifico dell'oro 19,26.

Giusta la formola $P = VD$ si ha $V = \frac{P}{D} = \frac{12}{7,35} = 1^{\text{dec. cub.}},\ 65265$.

Ora, il volume della palla, detto R il raggio, è $\frac{4\pi R^3}{3}$; dunque si ha

$$\frac{4\pi R^3}{3} = 1,63265,\ \text{ossia}\ 4\pi R^3 = 4,89795,\ \text{d'onde}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{4,89795}{12,56636}} = 0^{\text{dec.}},730.$$

Per calcolare il volume dello strato d'oro, si chiami R' il raggio esterno che vale $0^{dec.},730 + 0^{dec.},006 = 0^{dec.},736$; il volume V di questo strato eguaglia la differenza tra il volume totale e quello della palla;

$$\text{perciò } V = \frac{4\pi}{3}(R'^3 - R^3) = \frac{4 \times 3,1416 \times 0.009669}{3}\ 0^{dec.\ cub.},0405015$$

$= 40^{cent.\ cub.},5039$, e quindi il peso dell'oro, che forma lo strato, è $19,26 \times 40,5015 = 780^{gr.},059$.

XVIII. Con oro, il cui peso specifico è 19,362, si fanno delle foglie della grossezza di un diecimillesimo di millimetro; si domanda quale superficie si potrebbe coprire con 10 grammi d'oro ridotto a questa sottigliezza.

Chiamando x la superficie domandata, espressa in centimetri quadrati, si avrà

$$x \times 0,00001 \times 19,362 = 10, \text{ d' onde } x = 51647.$$

XIX. Una lastra di rame della grossezza di $0^m,005$, le cui facce sono triangoli equilateri, ciascuno di $1^m,25$ di lato, è stata coperta con uno strato d'argento della grossezza di $0^m,00015$. Sapendosi che il peso specifico del rame è 8,22 e quello dell'argento 10,47, si domanda quale è il peso della lastra così inargentata.

Chiamando S l'area del triangolo, a il suo lato e V il volume della lastra, si ha $S = \frac{a^2}{4}\sqrt{3} = \frac{(12.5)^2}{4} \times 1,7321 = 67^{dec.\ qu.},60156$.

$$V = 67,66 \times 0,05 = 3^{dec.\ cub.},383.$$

Peso del rame $= 3,383 \times 8,95 = 30^{ch.},27785$;
Volume dell'argento $= 2 \times 67,60155 \times 0,0015 = 0^{dec.\ cub.},2028047$;
Peso dell'argento $= 0,2028047 \times 10,47 = 2^{ch.},12336$;
Peso totale $= 30^{ch.},277352 + 2^{ch.},12336 = 32^{ch.},40121$.

XX. Una lama d'acciajo foggiata in triangolo equilatero aok (fig. 620) il cui lato è $0^m,15$, girando intorno al suo lato ok, si è addentrata compiutamente in un masso di marmo il cui peso specifico è 2,71. Si suppone che l'asse di

rotazione sia perpendicolare alla faccia piana *ie* del masso e che la lama entri in esso dapprima col suo vertice. Si domanda la perdita di peso che subisce il masso in questa operazione.

Fig. 620.

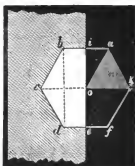
Il volume della parte tolta è

$$V = \pi\,\overline{oi}^2 \times \frac{ab}{2} + \pi\,\overline{oi}^2 \times \frac{ab}{6} = \frac{4}{6}\pi\,\overline{oi}^2 \times ab$$

$$\text{Ma } \overline{oi}^2 = \overline{ab}^2 - \frac{\overline{ab}^2}{4} = \frac{3}{4}\overline{ab}^2 \text{ ; dunque}$$

$$V = \pi\frac{\overline{ab}^3}{2} = \frac{3{,}1416 \times (15)^3}{2} = 5301^{\text{cent cub}}{,}45.$$

Pertanto la perdita di peso del masso è

$$5301{,}35 \times 2{,}72 = 14^{\text{chil}}{,}491^{\text{gr}}{,}944.$$

XXI. Per iscavare una miniera di sal gemma, si è praticato colla trivella nel terreno salifero un foro, nel quale è stato introdotto un tubo lungo 100 metri, che si eleva di 1 metro al disopra del suolo ed in basso entra per $1^m{,}75$ in una soluzione salina il cui peso specifico è 1,3. Questo tubo non chiude esattamente l'apertura, e tra le sue pareti esterne e quelle del foro praticato viene versata dell'acqua dolce. Si domanda a quale altezza si eleverà nel tubo la soluzione salina.

Rappresentiamo con AB il foro ottenuto colla trivella (fig. 577), con *a*O il tubo, con *mn* il livello della soluzione salina. Giusta l'enunciato, la parte CO del tubo immerso nella soluzione è di $1^m{,}75$ e la parte *ab* spergente dell'acqua è di 1^m; epperò la parte *a*C ha la lunghezza di $98^m{,}25$.

Fig. 621.

Ciò posto, ammettiamo che l'acqua dolce e la salsa non si mescolino, e che la soluzione salina, al fondo del foro praticato, si mantenga sempre al livello *mn*. Siccome i due scompartimenti *i*B ed *a*C costituiscono due vasi comunicanti, si sa che le altezze delle colonne liquide entro i medesimi devono essere in ragione inversa dei loro pesi specifici (§ 89.) E poichè il peso specifico dell'acqua dolce contenuta nella parte *i*B è 1, chiamando *h* l'altezza della soluzione salina nel tubo si avrà

$$\frac{1}{1{,}3} = \frac{h}{aC}; \text{ ma } aC = 98^m{,}25, \text{ dunque}$$

$$h = \frac{98^m{,}25}{1{,}3} = 75^m{,}58.$$

XXII. Essendo 7 il peso specifico dello zinco e 9 quello del rame, si domanda quali quantità in peso si dovranno prendere di questi due metalli per formare una lega del peso totale di 50 grammi e del peso specifico 8,2, ammettendo che il volume della lega sia esattamente eguale alla somma dei due metalli allegati.

Siano x ed y i pesi, in grammi, dello zinco e del rame domandati. In primo luogo si ha $x + y = 50$ (A), e, giusta la formola nota $P = VD$, la quale dà $V = \frac{P}{D}$, i volumi dei due metalli e della loro lega sono rispettivamente $\frac{x}{7}, \frac{y}{9}$ e $\frac{50}{8,2}$: dunque si ha $\frac{x}{7} + \frac{y}{9} = \frac{50}{8,2}$ (B).

Risolvendo le equazioni (A) e (B), si trova $x = 17,07$ ed $y = 32,93$.

XXIII. Mescolando due liquidi, l'uno dei quali ha il peso specifico 1,3 e l'altro 0,7, si ottiene un liquido del volume di 3 litri e del peso specifico 0,9; si domanda quali sono i volumi dei liquidi mescolati.

Siano v, v' i volumi richiesti: si ha in primo luogo $v + v' = 3$ (1). I pesi poi dei liquidi, giusta la formola $P = VD$ sono, per l'uno, $v \times 1,3$ e per l'altro $v' \times 0,7$; dunque $v \times 1,3 + v' \times 0,7 = 0,9 \times 3$ (2). Risolvendo le due equazioni (1) e (2), si trova $v = 1$ e $v' = 2$.

XXIV. Si domanda quale sarà il peso specifico di una lega o di un altro miscuglio che si vuole formare con due sostanze i cui pesi totali sono P, P', e i pesi specifici D, D', sapendosi che il volume della lega o del miscuglio subisce una contrazione eguale ad $\frac{1}{m}$ della somma dei volumi dei corpi che li compongono.

I volumi dei metalli che compongono la lega, o in generale dei due corpi da mescolarsi, giusta la formola $P = VD$, sono espressi da $\frac{P}{D}$, $\frac{P'}{D'}$ e la m^{esima} parte della somma di questi volumi è $\frac{1}{m}\left(\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}\right)$; per conseguenza, il volume del miscuglio è

$$\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'} - \frac{1}{m}\left(\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}\right) = \left(\frac{P}{D} + \frac{D'}{P'}\right)\left(\frac{m-1}{m}\right).$$

Ma, rappresentando con d il peso specifico domandato, il volume del miscuglio sarà espresso anche da $\frac{P + P'}{d}$: si ha dunque l'equazione

$$\frac{P + P'}{d} = \left(\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}\right) \frac{m - 1}{m},$$

da cui si cava $$d = \frac{(P + P')\,DD'm}{(PD' + P'D)\,(m - 1)} \quad (A).$$

Se, in luogo di contrarsi, la lega si dilatasse, si troverebbe con un calcolo analogo

$$d = \frac{(P + P')\,DD'm}{(PD' + P'D)\,(m + 1)} \quad (B).$$

XXV. Si domanda il peso specifico di una mescolanza fatta con 18 chilogrammi d'acido solforico ed 8 chilogrammi d'acqua, sapendosi che il peso specifico dell'acqua è 1, quello dell'acido solforico 1,84 e che il volume del miscuglio subisce una contrazione di $\frac{1}{32}$.

Usando della formola (A) precedente si trova

$$d = \frac{(P + P')\,DD'm}{(PD' + P'D)\,(m - 1)} = \frac{(8 + 18) \times 1.84 \times 32}{32,72 \times 31} = 1,50.$$

XXVI. Fondendo P chilogrammi di un metallo, il cui peso specifico è D, con P' chilogrammi di un altro metallo, il cui peso specifico è D', si è trovato che la lega ha il peso specifico d. Si domanda se avvenne contrazione o dilatazione, e quale sia il valore del coefficiente $\frac{1}{m}$ di contrazione o di dilatazione.

La equazione (A) del problema XXIV, la quale corrisponde al caso in cui avvenga contrazione nel volume della lega, risolta rispetto ad m, dà

$$m = \frac{(PD' + P'D)\,d}{(PD' + P'D)\,d - (P + P')\,DD'} \quad (C).$$

Ora, la quantità m, che è denominatore della frazione di contrazione, deve essere necessariamente positiva, altrimenti diverrebbe negativo il coefficiente medesimo, il che non può avere significato; è quindi necessario, affichè avvenga contrazione, che si abbia

$$(PD' + P'D)\,d > (P + P')\,DD', \text{ da cui } d > \frac{(P + P')\,DD'}{PD' + P'D}.$$

Ma, dividendo il numeratore ed il denominatore per DD′, quest' ultima relazione diventa:

$$d > \frac{P + P'}{\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}},$$

sotto il quale aspetto si può interpretrarla facilmente. Infatti, essendo $P + P'$ il peso della lega, e $\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}$ la somma dei volumi dei metalli allegati, ne segue che l'espressione $\frac{P + P'}{\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}}$ è appunto, giusta la formola $D = \frac{P}{V}$, il peso specifico che avrebbe la lega se non avvenisse nè contrazione nè dilatazione. Ora, quando avviene contrazione, il peso specifico aumenta, epperò bisogna che si abbia

$$d > \frac{P \quad P'}{\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}}$$

Segue altresì da questa considerazione, che quando avviene dilatazione si deve avere $d < \frac{P + P'}{\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'}}$ alla quale condizione si giunge anche risolvendo rispetto ad m la formola (B) del problema XXIV.

Se fosse $d = \frac{(P + P')\,DD'}{PD' + P'D}$, la formola (C) dà $m = \infty$, e quindi $\frac{1}{m} = 0$ cioè in tal caso non avviene nè contrazione nè dilatazione.

XXVII. Conoscendo che un corpo A pesa nell'aria $7^{gr},55$, nell'acqua $5^{gr},17$ e, in un altro liquido B, $6^{gr},35$, si vuole trovare il peso specifico del corpo A e quello del liquido B.

Giusta l'enunciato, il corpo A subisce nell'acqua una perdita di peso espressa da $7^{gr},55 - 5^{gr},17 = 2^{gr},38$ che rappresenta il peso dell'acqua spostata. Nel liquido B perde $7^{gr},55 - 6^{gr},35 = 1^{gr},20$, epperò tale è il peso di un volume del liquido B eguale a quello del corpo A e dell'acqua spostata da quest'ultimo. Per conseguenza, il peso specifico del corpo A è $\frac{755}{238} = 3,172$, e quello del liquido B è $\frac{120}{238} = 0,50$;

XXVIII. Una sfera di platino pesa nell'aria 84gr., e nel mercurio pesa soltanto 22gr, 6: quale è la densità del platino?

La perdita di peso fatta dalla sfera nel mercurio è 84gr, — 22gr, 6 = 61gr, 4; dunque la densità del platino rispetto al mercurio è $\frac{84}{61,4}$, e quella del platino rispetto all'acqua è $\frac{84 \times 13,6}{61,4} = 18,55$, perchè la densità del mercurio è 13,6.

Corpi immersi o galleggianti nei liquidi.

XXIX. Qual forza si richiede per sostenere entro il mercurio, alla temperatura zero, un decimetro cubo di platino, ammesso che il peso specifico del mercurio sia 13,6 e quello del platino 21,5?

Giusta la formola nota $P = VD$ (§ 106), il peso del decimetro cubo di platino è di chilogrammi $1 \times 21,5 = 21^{ch},5$, e quello del mercurio spostato è $1 \times 13,6 = 13^{ch},6$. Ma, secondo il principio di Archimede, il platino immerso perde una parte del suo peso eguale al peso del mercurio spostato; dunque, entro questo liquido, il suo peso è $21^{ch},5 - 13^{ch},6$ cioè $7^{ch},9$. Tale è il valore della forza che si dovrà impiegare per sostenere il decimetro cubo di platino entro il mercurio.

XXX. Si vuole sostenere entro l'acqua un cubo di piombo avente 4 centimetri di lato, attaccandolo ad un sfera di sughero. Si domanda quale diametro debba avere quest'ultima perchè il peso del piombo sia equilibrato dalla spinta del liquido all'insù, conoscendosi che il peso specifico del piombo è di 11,35 e quello del sughero 0,24.

Il volume del cubo di piombo è 64 centimetri cubi; per conseguenza il suo peso nell'aria è $64 \times 11,35$ e il suo peso nell'acqua

$$64 + 11,35 - 64 = 662^{gr},40.$$

Rappresentando con r il raggio della sfera di sughero, espresso in centimetri, il suo volume, in centimetri cubi, sarà $\frac{4\pi r^3}{3}$ e quindi $\frac{4\pi r^3 \times 0,24}{3}$ il suo peso in grammi. Ciò posto, siccome il peso dell'acqua spostata dal sughero è di grammi $\frac{4\pi r^3}{3}$, ne risulta una spinta dal basso in alto eguale

a $\frac{4\pi r^3}{3} - \frac{4\pi r^3 \times 0.24}{3} = \frac{4\pi r^3 \times 0.76}{3}$. Ora, questa spinta dev'essere eguale al peso del piombo, dunque si ha

$$\frac{4\pi r^3 \times 0,76}{3} = 662,40,$$

$$\text{da cui } r = \sqrt[3]{\frac{1987,20}{3,04 \times 3,1416}} = 5^{\text{cent.}}.925,$$

epperò il diametro domandato è $11^{\text{cent.}}$, 85.

XXXI. Un parallelepipedo rettangolo di ghiaccio, il cui peso specifico è 0,939 e le dimensioni 10^m,50,15^m,75,20^m,45, galleggia sull'acqua marina, il cui peso specifico è 1 02; si domanda quale parte dell'altezza del parallelepipedo sporgerà dal liquido.

Supponiamo che il parallelepipedo sia disposto come mostra la figura 622 a siano AB, AC, AD i tre spigoli, le cui lunghezze sono rispettivamente 20^m,45; 15^m,75; 10^m,50. Siccome il volume di un parallelepipedo rettangolo eguaglia il prodotto delle sue tre dimensioni, così, rappresentando con V il volume del ghiaccio, in decimetri cubi, si avrà

Fig. 622.

$V = 204,5 \times 157,5 \times 105 = 338194^{\text{dec. cub.}}$, 75 e il peso di questo ghiaccio, giusta la formola $P = VD$, sarà $V \times 0\,93 = 3145184^{\text{cb.}}$,44.

Ciò posto, se si rappresenta con x l'altezza DE della parte immersa, il volume di questa parte sarà $AB \times AC\ x$, ossia

$$204,5 \times 157,5 \times x - 32208,75\ x.$$

Questo è il volume d'acqua marina spostata dal ghiaccio, e il peso di quest'acqua, giusta la formola $P = VD$, sarà $32208,75 \times 1,026 \times x$.

Ora, per la condizione di equilibrio dei corpi galleggianti (§ 97), il peso dell'acqua spostata è eguale al peso di tutto il corpo galleggiante; dunque si ha

$$32208,75 \times 1,026 \times x = 3145184,44,$$

$$\text{da cui } x = 95^{\text{dec}},17.$$

La parte EA, che rimane fuori dell'acqua, è dunque

$$105 - 95,17 = 9^{\text{dec.}},83.$$

XXXII. Si vuole costruire una sfera di rame cava, la quale, immersa nell' acqua, vi si affondi precisamente per una metà: si domanda quale deve essere il rapporto tra la grossezza della parete della sfera ed il raggio esterno di essa, che è indeterminato, sapendosi che il peso specifico del rame è 8,788.

Si denomini R il raggio esterno, r il raggio interno: la grossezza della parete sarà $R - r$, ed il rapporto domandato $\frac{R - r}{R}$.

Ora, il volume della sfera di raggio R è $\frac{4\pi R^3}{3}$, e quello della sfera di raggio r è $\frac{4\pi r^3}{3}$, e però il volume della parete è

$$\frac{4\pi R^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3), \text{ e il suo peso è } \frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3) \times 8{,}788.$$

D'altronde il peso dell'acqua spostata è $\frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi R^3}{3}$: scrivendo che questo peso eguaglia quello del corpo, ommettendo il fattore comune $\frac{4\pi}{3}$, si ha l' equazione:

$(R^3 - r^3) \times 8{,}788 = \frac{R^3}{2}$, da cui $R^3 \times 17{,}576 - r^3 \times 17{,}576 = R^3$, o, trasportando, $R^3 \times 16{,}576 = r^3 \times 17{,}576$

$$\text{e quindi } \frac{R}{r} = \sqrt[3]{\frac{17576}{16576}} = 1{,}02.$$

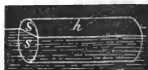
Da questa ultima equazione si deduce successivamente

$$\frac{R}{1{,}02} = \frac{r}{1}, \quad \frac{R - r}{0{,}02} = \frac{R}{1{,}02} \text{ ed } \frac{R - r}{R} = \frac{0{,}02}{1{,}02} = \frac{2}{102} = \frac{1}{51};$$

adunque la grossezza della parete dev'essere $\frac{51}{1}$ del raggio esterno.

XXXIII. Un cilindro di legno di faggio, il cui peso specifico è 0,852, galleggia sull' acqua col suo asse in direzione orizzontale (fig. 623). Si domanda il rapporto tra il volume della parte immersa e quella della sporgente.

Fig. 623.

Siccome i due volumi, di cui si cerca il rapporto, sono due parti del cilindro aventi la stessa altezza h, il loro rapporto sarà quello stesso dei segmenti di circolo S, S' che ne costituiscono le basi.

Il volume della parte immersa è Sh, quello della sporgente $S'h$ e il volume totale del cilindro è $(S + S')\,h$. Il peso del cilindro è adunque $(S + S')\,h \times 0{,}852$, e quello dell' acqua spostata hS. Ma questi due pesi sono eguali fra loro (§ 97), epperò si ha l' equazione

$$(S \times S')\,h \times 0{,}852 = Sh, \text{ da cui } \frac{S'}{S} = \frac{1 - 0{,}852}{0{,}852} = 0{,}173.$$

XXXIV. Un cono retto di legno, il cui peso specifico è 0,729, è posto a galleggiare sull' acqua col suo asse disposto verticalmente. Collocando dapprima il vertice in basso, poi il vertice in alto, si domanda quale parte della sua altezza si immergerà nel liquido in ciascuno dei due casi.

1.° Si chiami V il volume totale del cono e v il volume della parte immersa quando il cono ha il vertice in basso; siano H ed h le altezze del cono intero e della parte immersa, D il peso specifico del legno, d quello dell' acqua.

I volumi V e v, avendo pesi eguali, saranno in ragione inversa dei pesi specifici, cioè si avrà $\frac{V}{v} = \frac{d}{D}$, ossia $\frac{H^3}{h^3} = \frac{d}{D}$, da cui $h^3 = \frac{H^3 D}{d}$.

Essendo $d = 1$, risulta $h = H\sqrt[3]{D} = H\sqrt[3]{0{,}729} = 0{,}9 \times H.$

2.° Nella seconda posizione del cono si ha

$$\frac{V}{V - v} = \frac{d}{D}, \text{ ossia } \frac{H^3}{H^3 - h^3} = \frac{d}{D}, \text{ da cui } h^3 = \frac{H^3 (d - D)}{d} = H^3 (1 - D),$$

$$\text{quindi } h = H\sqrt[3]{1 - D} = H\sqrt[3]{1 - 0{,}729} = 0{,}647 \times H.$$

XXXV. Un cono di ferro ASB (fig. 624) galleggia sul mercurio col vertice in basso; si domanda il rapporto tra l' altezza OS della parte immersa e l' altezza totale SC, sapendosi che il peso specifico del ferro è d, quello del mercurio d'. Si chiami h l' altezza totale SC, h' la parte SO, R ed r i raggi CB ed OH. Il volume dell'intiero cono è $\frac{\pi R^2 h}{3}$ e, giusta la formola $P = VD$, il suo peso $\frac{\pi R^2 hd}{3}$. Parimenti il volume della parte immersa del cono è $\frac{\pi r^2 h'}{3}$ e quindi il peso del mer-

Fig. 624.

curio spostato dal cono è $\frac{\pi r^2 h' d'}{3}$. Ma questi due pesi devono essere tra loro eguali (§ 97), dunque si ha l'equazione

$$\frac{\pi R^2 h d}{3} = \frac{\pi r^2 h' d'}{3};\ \text{da cui}\ \frac{h'}{h} = \frac{R^2}{r^2} \times \frac{d}{d'}\ \text{(A)}.$$

Ora, i triangoli BCS, KOS essendo simili, danno la proporzione $\frac{R}{r} = \frac{h}{h'}$;

sostituendo nella equazione (A) questo valore di $\frac{R}{r}$ si ha $\frac{h'}{h} = \frac{h^2}{h'^2} \times \frac{d}{d'}$;

da cui $\frac{h'^3}{h^3} = \frac{d}{d'}$ ed estraendo le radici cubiche dai due membri, si ha,

finalmente $h' : h = \sqrt[3]{d} : \sqrt[3]{d'}$,

cioè *le altezze dell'intero cono e della parte immersa sono inversamente proporzionali alle radici cubiche dei pesi specifici del corpo immerso e del liquido, qualunque sia l'angolo al vertice del cono.*

XXXVI. Ad un cilindro di platino dell' altezza di 2 centimetri si attacca un cilindro di ferro dello stesso diametro. Quale altezza bisogna dare al cilindro di ferro affinchè la sua base superiore si mantenga al livello del mercurio quando si immergono nel liquido ambedue i cilindri; e se il diametro dei cilindri fosse di 3 centimetri, quale sarebbe il peso del mercurio spostato? È dato il peso specifico del platino, che è 21,59, quello del mercurio 13,596 e quello del ferro 7,788.

1.° Si rappresenti con D il peso specifico del platino, con D′ quello del ferro e con D″ quello del mercurio, con h l' altezza del cilindro di platino e con x quella del cilindro di ferro.

Il peso del platino è . . . . $\pi r^2 h D$;
quello del ferro . . . . $\pi r^2 x D'$;
e quello del mercurio spostato. . . $\pi r^2\ (h+x) D''$

Si ha dunque $\pi r^2 h D + \pi r^2 x D' = \pi r^2 (h+x) D''$, da cui

$$x = \frac{h\ (D - D'')}{D'' - D'} = \frac{2 \times 7{,}944}{5{,}808} = 2^{\text{cent.}},75.$$

2.° Essendo $3^{\text{cent.}}$ il diametro del cilindro, il peso del mercurio spostato trovasi eguale a

$$\frac{3{,}1416 \times 9\,(2 + 2{,}75)\,13{,}596}{4} = 456^{\text{gr.}},497.$$

XXXVII. Un areometro di Baumé (pesa-acidi), la cui asta è esattamente cilindrica, si immerge sino alla divisione 66ª nell'acido solforico, il cui peso specifico è 1,8. Si domanda: 1.º quale è il peso specifico dell'acqua salata che si adopera per la graduazione dell'istrumento; 2.º quale è il rapporto tra il volume di una parte compresa tra due divisioni prossime consecutive dell'areometro e quale il volume dello strumento stesso fino allo zero della scala.

1.º Si chiami V il volume dell'areometeo sino allo zero della sua scala, v il volume dello stesso sino a 66 gradi, e v' il volume sino a 15 gradi. Si ha $\frac{V}{v} = \frac{1\,8}{1}$, ossia $\frac{v+66}{v} = 1,8$, da cui $v = 82,5$ e $V = 148,5$. Dall'equazione $V - v' = 15$ si cava $v' = 133,5$. Dunque il peso specifico d dell'acqua salata è dato dall'equazione

Fig. 625.

$$\frac{V}{v'} = \frac{d}{1}, \text{ da cui } d = \frac{148,5}{133,5} = 1,112.$$

2.º Il rapporto tra il volume di una parte compresa fra due divisioni prossime ed il volume dell'areometro fino a zero è $\frac{1}{148,5}$.

Pressioni e densità dei fluidi.

XXXVIII. Uno dei rami di un sifone è pieno di mercurio fino all'altezza di $0^m,175$; nell'altro elevasi un altro liquido sino all'altezza di $0^m,42$, e le due colonne si fanno equilibrio. Si domanda il peso specifico del secondo liquido rispetto al mercurio e rispetto all'acqua.

Rappresentando con d il peso specifico richiesto rispetto al mercurio e con d' quello rispetto all'acqua, si ha
$1 \times 0.175 = 0,42 \times d$, e $13,6 \times 0,175 = 0,42 \times d'$; d'onde $d = 0,416$ e $d' = 5,666$.

XXXIX La forza impiegata per lavorare con un torchio idraulico è di 29 chilogrammi; il braccio di leva, sul quale opera questa forza, è quintuplo di quello della resistenza; finalmente, l'area della base dello stantuffo maggiore è 70 volte quella del minore. Si domanda quale è la pressione trasmessa allo stantuffo maggiore.

Rappresentando con F la potenza, con p la pressione esercitata dalla leva sullo stantuffo minore, si ha, giusta il principio delle leve (45),

$p \times 1 = P \times 5$ (1). Ora, si chiami P la pressione trasmessa allo stantuffo maggiore; essendo questa pressione proporzionale alla superficie, si ha $P = 70\,p$ (2), Sostituendo in questa equazione il valore di p dato dall'equazione (1), risulta $P = 70 \times 5 \times F = 70 \times 5 \times 20 = 7000$ chilogrammi.

XL. Si vuole empire un aerostato sferico del diametro di 4 metri con idrogeno impuro, che pesa 100 grammi al metro cubo; il taffettà inverniciato, di cui è fatto l'involucro, pesa 250 grammi per metro quadrato. Si domanda quanto idrogeno bisognerà introdurvi per empirlo e quale peso potrà sostenere, sapendosi che il peso di un metro cubo d'aria è di 1300 grammi.

Siccome il volume di una sfera di raggio R è rappresentato da $\frac{4\pi R^3}{3}$ e la sua superficie da $4\pi R^2$, denominando V il volume ed S la superficie del globo che si considera, si avrà:

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3{,}1416 \times 8}{3} = 53^{\text{met. cub.}}{,}510,$$

$$\text{ed } S = 4\pi R^2 = 4 \times 3{,}1416 \times 4 = 50^{\text{met. qu.}}{,}2656.$$

Per conseguenza il peso dell'idrogeno contenuto nel pallone, giusta l'enunciato, è $100^{\text{gr.}} \times 33{,}510 = 3^{\text{chil.}}\,351$, e quello dell'involucro $250 \times 50{,}2656 = 12^{\text{ch.}}{,}566$. Il peso totale del pallone, compresovi quelli dell'idrogeno e dell'involucro è dunque $3^{\text{ch.}}{,}351 + 12^{\text{ch.}}{,}566 = 15^{\text{ch.}}{,}917$.

Ma il peso dell'aria spostata dal globo, e quindi la spinta dal basso in alto (§ 160), è $1^{\text{ch.}}{,}300 \times 33{,}510 = 43^{\text{ch.}}{,}563$ Dunque il peso che può essere tenuto in equilibrio del globo è $43^{\text{ch.}}{,}563. - 15^{\text{ch.}}{,}917 = 27^{\text{ch.}}{,}546$.

XLI. Calcolare la forza ascensiva di un pallone sferico di taffettà che, vuoto, pesa $63^{\text{ch.}}{,}60$, e che viene empito di gas idrogeno impuro, sapendo che ogni metro cubo di questo gas pesa $0^{\text{ch.}}{,}1$, che ogni metro quadrato di taffettà verniciato pesa $0^{\text{ch.}}{,}25$, e che il peso di un metro cubo d'aria è $1^{\text{ch.}}{,}3$.

La superficie del pallone è $\frac{63.62}{0{,}25} = 2\ldots{,}48$. Ora, la superficie d'una sfera di raggio R è $4\pi R^2$, dunque si ha $4\pi R^2 = 254^{\text{met qu}}{,}48$, e quindi

$$R = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{254{,}48}{3{,}1416}} = \frac{1}{2}\sqrt{81{,}0033} = 4^{\text{m}}{,}50.$$

Chiamando V il volume del pallone, sarà

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3{,}1416 \times (4{,}5)^3}{3} = 381^{\text{met. cub.}}{,}7016.$$

Il peso dell'aria spostata è pertanto $1{,}3 \times 381{,}7044 = 496^{\text{ch.}}{,}116$.

Il peso dell'idrogeno è 0,1 × 381,7044 = 38^{ch},1704; dunque la forza ascensiva è $4?6^{ch}$,216 — 35^{ch},17 — 63^{ch}520 = 364^{ch},426.

XLII. Un pallone sferico del raggio di un metro è pieno per $\frac{3}{5}$ di gas idrogeno; si domanda qual peso esso potrebbe sollevare ammettendo che l'idrogeno e l'aria siano alla temperatura di 0 gradi ed alla pressione 0^m, 76 e sapendosi che in tal caso un litro d'aria pesa 1^{gr},3, mentre il peso specifico dell'idrogeno è 0,069.

Il volume del pallone è $\frac{4\pi R^3}{3}$, ed i $\frac{3}{4}$ di questo volume valgono $\pi R^3 = \pi \times 1^3 = 3^{met\ cub}$, 1416. Siccome un metro cubo d'aria pesa 1^{ch},3, il peso dell'aria spostata dal pallone sarà 1,3 × 3,1416 = 4^{ch},084. Il peso dell'idrogeno, che è nel pallone, sarà 4,084 × 0,069 = 0^{ch}.,202. Dunque il peso che il pallone può sollevare, compresovi il proprio peso, è di 4^{ch},084 — 0^{ch},281 = 3^{ch},802.

XLIII. Si domanda il valore F della forza necessaria per sostenere una campana piena di mercurio ed immersa nello stesso liquido, sapendo che il diametro interno di essa è di 6 centimetri, che la sua altezza *ob* (fig. 626) al disopra del livello del bagno è di 18 centimetri, e che l'altezza barometrica è 0^m,77.

Fig. 626.

La pressione esterna che l'aria esercita sulla campana dall'alto in basso eguaglia quella di una colonna di mercurio avente per base la sezione *cd* della campana e per altezza quella del mercurio nel barometro: per conseguenza questa pressione, quando si indichi con R il raggio della anzidetta sezione, è eguale a $\pi R^2 \times 0,77 \times 13,596$.

Al di dentro la campana soffre una pressione dal basso in alto eguale alla pressione atmosferica, meno il peso della colonna di mercurio che ha per base la sua sezione e per altezza *ob*; cioè la pressione dal basso in alto è πR^2 (0,77 — 0,18) × 13,596 = πR^2 × 0,59, × 13,596. Lo sforzo necessario per sostenere la campana sarà dunque eguale alla differenza di queste due pressioni, ossia a

$$\pi R^2 (0,77 - 0,59) \times 13,596 = \pi R^2 \times 0,18 \times 13,596;$$

cioè la forza necessaria per sostenere la campana, quando si faccia astrazione dal peso della medesima e dalla perdita di peso che subisce la parte

immersa nel mercurio, è precisamente eguale al peso del mercurio, che essa conterrebbe se fosse esattamente cilindrica.

Ponendo R = $0^m,03$ giusta l'enunciato, ed effettuando i calcoli nella espressione precedente, si trova F = $6^{ch},9185$.

XLIV. Il volume d'aria contenuto nel provino di una macchina di compressione era a principio di 152 parti. Comprimendo, l'aria si è ridotto questo volume a 37 parti ed il mercurio si è innalzato nel tubo manometrico di $0^m,48$. Si domanda in quale rapporto siasi aumentata la massa d'aria nel recipiente della macchina.

Fig. 627.

Riferendo la figura 627 ai dati del problema, si ha AB = 152 parti, AC = 37 parti, e BC = $0^m,48$. Adunque la pressione dell'aria contenuta in AC è, giusta la legge di Mariotte, $\frac{152}{37} = 4^{atm.},108 = 3^m,122$, poichè un' atmosfera è misurata di $0^m,76$. Pertanto la pressione nel recipiente M, in cui si comprime l'aria, è $3^m,122 + 0^m,48 = 3^m,602$. Ora, le masse d'aria contenute nel recipiente a principio e dopo la condensazione, essendo proporzionali alle pressioni, se chiamasi 1 la prima ed m la seconda, si avrà $0,76 : 3,602 = 1 : m$, quindi $m = \frac{3,603}{0,76} = 4,7$.

Cioè la massa d'aria contenuta nel recipiente dopo la condensazione è 4 volte e 7 decimi quella che vi era contenuta dapprima.

XLV. Un manometro ad aria compressa è diviso in 110 parti di eguale capacità: quando la pressione esterna è di $0^m,76$, il mercurio, nell'interno del tubo e nella vaschetta, arriva allo zero della scala. Entro il recipiente di una macchina di compressione, il mercurio di questo manometro si eleva sino alla 80ma divisione e, misurando l'altezza del mercurio nel tubo, la si trova di $0^m,45$: si domanda quale sia la pressione in quel recipiente.

Fig. 628.

Si chiami P la pressione dell'aria chiusa in AC (fig. 628). Essendo 30 il volume della parte AC, si ha $P : 76 = 110 : 30$, quindi $P = 2^m,787$. Aggiungendovi poi l'altezza $0^m,450$ del mercurio nel tubo, si ha la pressione totale di $3^m,237$. Per ridurla in atmosfere, si dividerà $3^m,237$ per $0^m,76$, con che si ottiene $4^{atm.} + \frac{1}{4}$

XLVI. Conoscendo il volume V d'aria contenuto nel recipiente e nel condotto di una macchina pneumatica alla tensione di $0^{m}76$, la capacità v di uno dei corpi di tromba e la massa totale M dell'aria contenuta nel recipiente e nel condotto, si domanda quale massa d'aria rimanga nella macchina dopo n corse dopple di un solo stantuffo e quale ne sia allora la tensione.

Quando lo stantuffo ascende dal fondo del corpo di tromba sino alla sommità, il volume V dell'aria diveota $V + v$, mentre la sua massa è sempre M. Ora, essendo la massa m d'aria sottratta proporzionale al volume v, si ha $\frac{m}{M} = \frac{v}{V+v}$, da cui $m = \frac{Mv}{V+v}$.

L'aria residua è allora $M - \frac{Mv}{V+v} = \frac{MV}{V+v} = M'$.

Parimenti si trova che la quantità d'aria tolta colla seconda corsa dello

stantuffo è $\frac{M'v}{V+v} = \frac{Mv}{V+v} \cdot \frac{V}{V+v}$;

alla terza corsa è $\frac{Mv}{V+v} \cdot \frac{V^2}{(V+v)^2}$;

alla quarta è $\frac{Mv}{V+v} \cdot \frac{V^3}{(V+v)^3}$;

e la n^{sima} è $\frac{Mv}{V+v} \cdot \frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}$.

Dunque tutta l'aria, che si è estratta dopo n corse di stantuffo, è

$$\frac{Mv}{V+v}\left(1 + \frac{V}{V+v} + \frac{V^2}{(V+v)^2} + \ldots + \frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}\right) \text{ (A).}$$

Ora, la quantità fra parentesi è una progressione geometrica decrescente, il cui primo termine è 1, il quoziente $\frac{V}{V+v}$. Ma dall'algebra si sa che la somma dei termini di una progressione geometrica è $\frac{a - lr}{1 - l}$, dove a indica il primo termine, l l'ultimo, r il quoziente: applicando questa regola, si trova che la somma dei termini fra parentesi è

$$\frac{V+v}{v} - \frac{V}{v} \cdot \frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}.$$

La formola (A) diventa adunque

$$\frac{Mv}{V+v}\left\{\frac{V+v}{v} - \frac{V}{v} \cdot \frac{V^{n-1}}{(V \times v)^{n-1}}\right\} = M - M\,\frac{V^n}{(V+v)^n}$$

Essendo questo il valore della massa d'aria estratta, si scorge che quella rimanente nella macchina è $M \dfrac{V^n}{(V + v)^n}$.

Per calcolare la tensione t dell'aria dopo le n corse dello stantuffo, basta osservare che la tensione dell'aria nel recipiente, giusta la legge di Mariotte, è proporzionale alla sua massa, epperò si ha

$$t : 0{,}76 = \frac{MV^n}{(V + v)^n} : M, \text{ da cui } t = 0^m{,}76 \times \frac{V^n}{(V + v)^n}.$$

XLVII. Quante corse doppie di un solo stantuffo abbisognano per recare dalla pressione $0^m{,}76$ alla pressione $0^m{,}002$ l'aria contenuta nel recipiente di una macchina pneumatica, il quale abbia la capacità di 10 litri, supposto che il corpo di tromba sia della capacità di 1 litro?

Questo problema si risolve facilmente per mezzo della formola

$$t = \frac{0^m{,}76 \times V^n}{(V + v)^n}$$

ottenuta qui sopra, ponendovi $t = 0{,}002$, $V = 10$ ed $v = 1$, con che si ottiene $\dfrac{2}{760} = \left(\dfrac{10}{11}\right)^n$, ossia $\left(\dfrac{11}{10}\right)^n = 380$. Prendendo i logaritmi dei due membri, si ha

$$n \times \log \frac{11}{10} = \log 380, \text{ da cui } n = \frac{\log 380}{\log 11 - \log 10} = 62.$$

XLVIII. Sapendo che la capacità del corpo di tromba di una macchina pneumatica è $\dfrac{1}{3}$ della capacità del recipiente, calcolare dopo quante corse di un solo stantuffo la pressione interna sarà ridotta alla dugentesima parte di quella che avevasi a principio.

Questo problema, analogo al precedente, si può anch'esso risolvere colla stessa formola: ovvero direttamente nel modo seguente. Si rappresenti con 1 la pressione primitiva e con 1 anche la capacità del recipiente. Dopo la prima salita dello stantuffo, il volume dell'aria si ridurrà ad $1 + \dfrac{1}{3}$ e, per conseguenza la pressione dell'aria nel recipiente sarà $\dfrac{1}{1 + \frac{1}{3}}$, essendo la pressione in

ragione inversa del volume. Parimenti quando lo stantuffo è arrivato la seconda volta all'estremo superiore della sua corsa, la pressione è $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$

di quel che era alla fine della prima corsa, cioè

$$\frac{1}{1+\frac{1}{3}} \text{ di } \frac{1}{1+\frac{1}{3}} \text{ ossia } \frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^2}.$$

Si troverà parimenti che dopo n corse di stantuffo la pressione dell'aria nel recipiente è $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n}$.

Nel caso attuale si ha $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n} = \frac{1}{200}$, ovvero $\left(1+\frac{1}{3}\right)^n = 200$ od anche $\left(\frac{4}{3}\right)^n = 200$ ove l'incognita del problema è l'esponente n.

Prendendo i logaritmi si ha $n \log \frac{4}{3} = \log 200$, ossia

$$n = \frac{\log 200}{\log 4 - \log 3} = 18{,}4.$$

XLIX. **Un corpo nell'aria perde 7 grammi del suo peso: quanto perderebbe nel gas acido carbonico, il cui peso specifico è 1,524 e nel gas idrogeno, il cui peso specifico è 0,069?**

Siccome il corpo perdè 7 grammi nell'aria, in un gas, il cui peso specifico sia 2,3 . . . , esso perderà il doppio, il triplo . . . ; dunque la perdita nell'acido carbonico è $7^{gr.} \times 1{,}524 = 10^{gr.},668$, e nell'idrogeno $7^{gr.} \times 0{,}069 = 0^{gr.},483$.

L. **Sapendosi che alla pressione 0^m76 e alla temperatura 0^0 il peso specifico dell'aria è 1, quello dell'idrogeno 0,069 e quello del gas acido carbonico 1,524; supposto che in quest'ultimo gas un corpo perda $1^{gr.},15$ del suo peso, si domanda quale sarebbe la perdita di peso di questo corpo nell'aria e nell'idrogeno.**

Si domanda inoltra: 1.° se il rapporto delle perdite di peso è ancora lo stesso alla temperatura di 200 gradi, restando invariata la pressione; 2.° se questo rapporto rimane lo stesso alla pressione di 30 atmosfere, essendo ancora 0^0 la temperatura.

Siccome un litro d'aria a 0° e alla pressione $0^m,76$ pesa $1^{gr},3$, un litro di gas acido carbonico, il cui peso specifico è 1,524 peserà $1^{gr},3 \times 1,524 = 1^{gr},9812$. Per ottenere il volume di $1^{gr},15$ di gas acido carbonico bisognerà dunque dividere $1^{gr},15$ per $1^{gr},9812$; il quoziente 0,5804 esprimerà, in litri, il volume del corpo. Perciò la perdita di peso del corpo nell' aria (§ 160) è $1^{gr},3 \times 0,5804 = 0^{gr},75452$. La perdita poi nell' idrogeno è $0^{gr},7545 \times 0,069 = 0^{gr},052061$.

Il rapporto delle perdite di peso nel gas acido carbonico e nell'idrogeno non rimane rigorosamente costante al cangiare della temperatura e della pressione, perchè questi due gas non sono egualmente dilatabili pel riscaldamento, nè egualmente compressibili (§§ 271 e 149).

LI. Un pallone, vuoto, pesa $150^{gr},475$; pieno d'aria pesa $160^{gr},158$; pieno di un altro gas $162^{gr},235$. Si domanda 1.° quale sia il peso specifico di questo gas rispetto all'aria, supposto che la pressione sia rimasta eguale durante le due pesate; 2° quale sarebbe il peso specifico del secondo gas se la pressione fosse stata di $0^m,77$ mentre si pesava quest'ultimo e di $0^m,75$, intanto che si pesava l'aria.

1.° Peso dell'aria $= 160^{gr},158 - 150^{gr},475 = 9^{gr},683$. Peso del secondo gas $= 162^{gr},235 - 150,475 = 11^{gr},970$. Peso specifico del gas (273) rispetto all' aria $= \dfrac{11.760}{9,683} = 1,2145.$

2.° Il peso del gas che alla pressione $0^m,77$ è 11,760, alla pressione $0^m,75$. a cui si è pesata l'aria, sarebbe stato invece $\dfrac{11,760 \times 75}{77}$. Dividendo questo peso per quello dell'aria si avrà il peso specifico cercato

$$= \frac{11,760 \times 75}{9,683 \times 77} = 1,183.$$

LII. Un pallone pesa $254^{gr},735$ quando è vuoto, e $5^{ch},422737$ quando è pieno d'aria alla temperatura di 4 gradi e alla pressione di $0^m,76$. Si sa che in queste condizioni il peso dell'aria sta a quello di un egual volume di acqua come 1:9 a 10000: si domanda quale sia la capacità del pallone. Empito poi questo pallone con altro gas, pure alla temperatura di 4 gradi, esso pesa $651^{gr},75$ alla pressione di $0^m,76$; quale ne sarebbe il peso se la pressione fosse di $1^m,25$?

1.° Il peso dell'aria contenuta nel pallone è

$$= 5^{ch},422737 - 0^{ch},254735 = 5^{ch},168002$$

Adunque, chiamando P il peso dell'acqua a 4° che empirebbe il pallone, si ha $\frac{P}{6,165002} = \frac{10000}{129}$ da cui P = 4006ch,204. Ora, il volume di un chilogrammo d'acqua a 4° è un litro, dunque la capacità del pallone è 4006lit.2 ... .

2.° Il peso del secondo gas contenuto nel pallone alla pressione 0m,76 è 651gr,145 — 254gr,735 = 396gr,410; epperò il peso dello stesso volume di gas alla pressione 1m,23 è $\frac{396,410 \times 123}{76}$ 641gr,607.

Il recipiente di una macchina pneumatica della capacità di 7lit,53 è pieno da principio d'aria alla pressione 0m,76 ed alla temperatura 0°. Si è estratta una parte dell'aria, e si domanda

1.° Il peso dell'aria che rimane in questo recipiente quando la pressione è ridotta a 0m,021;

2.° Il peso dell'aria che è stata allora estratta;

3.° Il peso dell'aria che rimarrebbe nella campana a quella pressione se la temperatura fosse 15°.

1°. Siccome 7lit,53 di aria, a 0° ed alla pressione 0m,76, pesano 1gr,3 × 7,53 = 9gr,789, questo stesso volume d'aria, alla pressione di 0m,021, peserà $\frac{9^{gr},789 \times 21}{760} = 0^{gr},270$.

2.° Il peso dell'aria estratta è 9gr,789 — 0gr,270 = 9gr,519.

3.° Il peso dell'aria che sarebbe contenuta a questa pressione nella campana se la temperarura fosse di 15° sarebbe $\frac{0,270}{1 + 0,00366 \times 15}$ = 0gr,270 (§ 271 probl. VI).

LIV. In un recipiente della capacità di 3 litri si sono fatti entrare: 1°. 2 litri di idrogeno alla pressione di 5 atmosfere; 2°. 4 litri di gas acido carbonico alla pressione di 4 atmosfere; 3.° 3 litri di azoto alla pressione di $\frac{1}{2}$ atmosfera. Si domanda la pressione della mescolanza, supposto che la temperatura non abbia variato durante l'esperimento.

La pressione richiesta è

$$= \frac{5 \times 2}{3} + \frac{4 \times 4}{3} + \frac{3}{2 \times 3} = 9^{atm} + \frac{1}{6}$$

(vedi il § 158).

Gravità, caduta dei gravi e pendolo.

LV. Quale lunghezza dovrebbe darsi ad un pendolo perchè ciascuna delle sue oscillazioni avesse, a Parigi, la durata di sette secondi?

Dalla formole $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (§ 59), si deduce

$$l = \frac{g \times T^2}{\pi^2} = \frac{9,8088 \times 49}{(3,1416)^2} = 48^m,67.$$

LVI. Quale è l'intensità della gravità sotto l'equatore, ove la lunghezza del pendolo a secondi è 0^m 991?

La formola $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ dà.

$$g = \frac{\pi^2 \times l}{T^2} = (3,1416)^2 \times 0,991 = 9^m,7808.$$

LVII Lasciata cadere una pietra in un pozzo, il suono che la pietra produce, incontrando l'acqua, si ode 3 secondi dopo che è stata abbandonata. Si domanda a quale profondità trovasi il livello dell'acqua, sapendosi che il suono percorre 337 metri in ogni minuto secondo.

Si chiami v la velocità del suono, x la profondità domandata e T il tempo, in minuti secondi, che passa dal principio della caduta all'istante in cui si ode il suono. Dalla formola nota $s = \frac{1}{2} gt^2$ (§ 55) si deduce

$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$, epperò sarà $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ il valore del tempo che impiega la pietra a cadere.

Per trovare il tempo impiegato dal suono per giungere all'orecchio dell'esperimentatore, osservisi che, essendo x lo spazio percorso, questo tempo sarà $\frac{x}{v}$. Si dovrà dunque avere

$$\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{v} = T, \text{ ovvero } \sqrt{\frac{2x}{g}} = T - \frac{x}{v},$$

d'onde

$$\frac{2x}{g} = T^2 - \frac{2Tx}{v} + \frac{x^2}{v^2}.$$

Togliendo i denominatori e trasportando si ha

$$gx^2 - 2v(v + gT)x + v^2gT^2 = 0,$$

la quale, risolta, dà

$$x = \frac{v}{g}\left\{ gT + v \pm \sqrt{v(2gvT + v)} \right\}$$

E, sostituendo a v, g, T i loro valori si trova

$$x = \frac{337}{9{,}81}\left\{ 9{,}81 \times 3 + 337 \pm \sqrt{337(2 \times 9{,}81 \times 3 + 337)} \right\}$$

cioè $x = \frac{337}{9{,}81}(366{,}43 \pm 365{,}24)$;

la quale dà le due soluzioni $x = 25134^m,9$ ed $x = 40^m,8$. La prima non soddisfa al problema perchè dà uno spazio maggiore di quello che percorre il suono in 3 secondi. È una *soluzione estranea* proveniente dall'innalzamento a quadrato del radicale $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ contenuto nella equazione del problema. Pertanto la profondità del pozzo è di $40^m,8$.

LVIII. Supposto che un uomo sollevi ad una volta 125. palle da cannone del peso di 2 chilogrammi ciascuna, si domanda quante ne potrebbe sollevare, collo stesso sforzo muscolare, se la terra avesse il volume della luna, restando però invariata la sua densità.

Si chiami M la massa della terra, D la sua densità, R il suo raggio; m la massa della luna, d la sua densità, r il suo raggio; da ultimo P il numero delle palle che l'uomo porta sulla superficie della terra, P' il numero che porterebbe, sempre alla superficie della terra, quando, a parità di volume, la massa della terra fosse m, e P'', il numero di quelle che porterebbe se la massa della terra fosse m ed il suo raggio r.

I due pesi P e P', essendo direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze dal centro colla terra, si ha $\frac{P}{P'} = \frac{R^2}{r^2}$ (1). Al contrario i pesi P', P'' essendo, a distanze eguali, in ragione inversa delle masse si ha $\frac{P'}{P''} = \frac{m}{M}$, ovvero, per essere la densità eguali, $\frac{P'}{P''} = \frac{r^3}{R^3}$ (2) Moltiplicando membro per membro le equazioni (1) e (2) risulta $\frac{P}{P''} = \frac{r}{R}$ da cui

$$P'' = P \times \frac{R}{r} = \frac{250^{ch}}{0{,}27234} = 918^{ch}.$$

Dunque il numero delle palle richieste è $\frac{918}{2} = 459$.

Dilatazioni.

LIX. Una sbarra di metallo lunga 5 metri si dilata, per un certo riscaldamento, quanto un' altra della lunghezza di 3 metri, e il cui coefficiente di dilatazione è $\frac{1}{754}$. Si domanda quale è il coefficiente di dilatazione della prima.

Sia il K coefficiente di dilatazione incognito: l' allungamento totale della prima asta per ciascun grado (§ 256) sarà $5 \times K$, e quello dell'altra $3 \times \frac{1}{754}$. Dunque si ha $5K = \frac{3}{754}$, da cui $K = \frac{3}{3770}$.

LX. Una sbarra metallica lunga 7^m, formata di un metallo, il cui coefficiente di dilatazione è $\frac{1}{735}$, si allunga quanto un' altra lunga 9^m, formata di altro metallo, per eguali variazioni di temperatura.

Si domanda il coefficiente di dilatazione di questo secondo metallo.

Sia K il coefficiente incognito. Si ha $K \times 9 = 7 \times \frac{1}{735}$ e di qui $K = \frac{1}{945}$.

LXI. Si domanda quale lunghezza deve avere una sbarra di un metallo, il cui coefficiente di dilatazione è $\frac{1}{1150}$, affinchè, pel riscaldamento di un grado, essa si allunghi quanto un' altra sbarra lunga 2^m di un metallo, il cui coefficiente di dilatazione è $\frac{1}{754}$.

Rappresentando con l la lunghezza dimandata, si ha

$$l \times \frac{1}{1150} = 2 \times \frac{1}{754}, \text{ d' onde } l = 3^m,050.$$

LXII. Un regolo di platino della lunghezza di 2 metri a 0^0, è diviso ad uno de' suoi capi in quarti di millimetro; un regolo di rame lungo $1^m,950$, applicato sul primo, pure a 0^0, differisce da esso di $0^m,050$ cioè di 200

divisioni del regolo di platino. Si domanda quale è la temperatura comune dei due regoli quando differiscono l' uno dall' altro di 164 divisioni del regolo di platino, ammettendo che il coefficiente di dilatazione del platino è 0,0000842 e quello del rame 0,000 17182.

La lunghezza del regolo di platino, la quale, a 0°, è di 8000 quarti di millimetro, a t gradi è di 8000 (1 + 0,00000842 × t) (§ 256).

Il regolo di rame che, a 0°, vale 7800 quarti di millimetro, a t gradi ne vale 7800 (1 + 0,000017182 × t).

Finalmente, la differenza tra i due regoli che, a 0°, è 164, a 1° sarà 164 (1 + 0,000007142 × t).

Adunque si ha

$$8000\ (1 + 0{,}00000842 \times t) - 7800\ (1 + 0{,}00017182 \times t).$$
$$= 164\ (1 + 0{,}00000842 \times t);$$

da cui si deduce $t = \frac{36}{0{,}06[illegible]7} = 556^{\circ}$.

LXIII. Calcolare l' area di un quadrato di lamiera di ferro alla temperatura di 64°, sapendosi che a 0° il suo lato è 3 metri, e che il coefficiente di dilatazione del ferro è 0,0000122.

Rappresentando con l la lunghezza del lato dato alla temperatura zero, con l' la lunghezza del medesimo lato a t gradi, con K il coefficiente di dilatazione del ferro, si ha la formola nota (§ 256).

$$l' = l\ (1 + Kt),$$

per mezzo della quale si trova il lato l' alla temperatura di 64°, ponendovi $l = 3$, $t = 64$, $K = 0{,}0000122$, onde si ottiene

$$l' = 3\ (1 + 0{,}000\,0122 \times 64) = 3{,}00023424.$$

Ciò posto, siccome l' area di un quadrato è eguale al prodotto del suo lato per sè stesso, così la richiesta area sarà eguale a $(3{,}0023424)^2$, cioè a $9^{\text{met. qu.}},0141$.

LXIV. Essendo 0,0000122 la dilatazione del ferro per ogni unità di lunghezza e per ogni grado di elevazione di temperatura, quale sarà a 60° l' area di un disco circolare di lamiera di ferro il quale, a 0°, ha $2^{\text{m}},75$ di diametro.

$$S = \pi R^2 (1 + K t^2) = 3{,}1416 \times (1^{\text{m}},375)^2\ (1 + 0{,}0000122 \times 60)^2$$
$$= 5^{\text{m qu.}},9483^{\text{cent. qu.}}$$

LXV. Si vuole costruire con aste di acciajo e di ottone un pendolo a compensazione, la cui lunghezza costante sia di 0^m 50. Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'acciajo, che si deve adoperare, è 0,00010788 e quello dell'ottone 0,00001882. Si domanda quale disposizione si dovrà dare alle parti di questo pendolo e quali dovranno essere le lunghezze delle aste di acciajo e di ottone perchè avvenga la compensazione.

Per soddisfare alle condizioni di questo problema, bisogna: 1.° che l'asta del pendolo sia formata da un sistema di verghe di ottone e di acciajo disposte in modo che le loro dilatazioni avvengano in versi contrarii; 2.° che le lunghezze rispettive delle parti di ottone e di quelle d'acciajo siano in ragione inversa dei coefficienti di dilatazione di queste sostanze. (§ 259). Si soddisfa alla prima di queste condizioni costruendo il pendolo nel modo rappresentato dalla figura 184.

Quanto alla seconda, chiamando x la lunghezza totale delle verghe di acciajo ed y quella delle verghe di ottone, si avrà, giusta l'equazione (1) del § 259, $x - y = 50^0$ (A).

Inoltre le lunghezze x ed y, dovendo essere in ragione inversa dei coefficienti, si ha $\frac{y}{x} = \frac{1\ 762}{10778}$ (B).

Risolvendo le equazioni (A) e (B) si trova

$$x = 1^m,\ 1747 \text{ ed } y = 0^m,6747.$$

LXVI. Un tubo di vetro cilindrico, chiuso inferiormente e zavorreto con mercurio, si approfonda per $\frac{3}{4}$ della sua lunghezza nell'acqua a 4°; si domanda quanto si approfonderà nell'acqua a 20°.

Si sa che l'acqua, da 4 a 20 gradi, si dilata di 0,00179 del suo volume, e che il coefficiente di dilatazione cubica del vetro è $\frac{1}{38700}$.

Essendo 1 la densità dell'acqua a 4°, a 20° essa sarà in ragione inversa del volume che prende il liquido a temperatura, cioè $\frac{1}{1,00179}$. Ora, la la parte immersa del tubo essendo in ragione inversa della densità, si ha

$$x : \frac{3}{4} = 1 : \frac{1}{1,00179}, \text{ da cui } x = 0,7513.$$

LXVII. Un areometro di Fahrenheit pesa 80^{gr}. Caricato di 45^{gr}, esso affiora in un liquido la cui temperatura è di 20^0 e il cui peso specifico, alla stessa temperatura, è 1,5. Si domanda il volume a 0^0 della parte immersa dell'istrumento.

Il peso del liquido spostato è $80 + 44 = 125^{gr}$, e il suo volume, a 20^0, è $\frac{P}{D} = \frac{125}{1,5}$, che esprime anche il volume della parte di strumento immersa alla temperatura stessa: dunque a 0^0 questo volume (§ 256) diventa

$$\frac{125}{1,5} \times \frac{1}{1 + 0,0002584 \times 20} = 83^{c.c.},290,$$

perchè 0,00002584 è il coefficiente di dilatazione cubica del vetro.

LXVIII. Essendo 13,59 il peso specifico del mercurio a 0^0, si domanda quale è a 85^0 il volume di 30 chilogrammi di questo metallo. Si assumerà il coefficiente di dilatazione del mercurio eguale ad $\frac{1}{5550}$.

Il volume a 0^0 è $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,59}$; quindi il volume a 85^0 è

$$\frac{30}{13,59}\left(1 + \frac{1}{5550} \times 85\right) = 2^{lit.},241.$$

LXIX. Si ha un vase sferico il quale ha il raggio interno di $\frac{2}{3}$ di metro alla temperatura 0^0, ed è formato di una sostanza il cui coeficiente di dilatazione lineare è $\frac{1}{2500}$. Si domanda quanti chilogrammi pesa il mercurio che empie questo vase a 0 gradi e a 25 gradi.

Si chiamino R il raggio interno del vase, V la sua capacita a 0^0, V' la sua capacità a t gradi, K il suo coefficiente di dilatazione lineare. Il raggio, a t gradi, sarà $R(1 + Kt)$ (§ 256), e si avrà inoltre

$$V = \frac{4\pi R^3}{3},\ V' = \frac{4\pi R^3 (1 + Kt)^3}{3}.$$

Sviluppando il cubo di $1 + Kt$, ed ommettendo i termini che contengono K^2 e K^3, i quali si potranno trascurare, essendo K una piccola frazione, si ha $V' = \frac{3\pi R^3 (1 + 3Kt)}{3}$.

Sostituendo ad R, K, t, i loro valori, si ha

$$V = 1241^{lit.},11 \text{ e } V' = 1278^{lit.},333.$$

Siccome il peso specifico del mercurio a 0° è 13,596, a 25° esso sarà

$$\frac{13,596}{1 + \frac{1}{5550} \times 25} = 13,535 \ (\S 257).$$

Dunque il peso del mercurio che empie il vase a 0° è

$$1241,11 \times 13,596 = 16863^{ch.},996$$

ed il peso del mercurio a 25° è

$$1278,333 \times 13,535 = 17808^{ch.},237.$$

LXX. In un termometro a mercurio si sa che ogni divisione è $\frac{1}{6480}$ della capacità del serbatojo sino allo zero della graduazione. Ora, votando questo termometro e introducendovi, sino allo zero, entro il ghiaccio fondentesi, un liquido il cui coefficiente di dilatazione assoluta sia $\frac{1}{2000}$, si domanda sino a quale divisione si innalzerà questo liquido a 20°, supposto che il coefficiente di dilatazione del vetro sia $\frac{1}{38700}$.

Essendo $\frac{1}{6480}$ il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro, quello del liquido dato è $\frac{1}{2000} - \frac{1}{38700} = \frac{367}{774400}$. Ora, l'altezza h e l'altezza 20, a cui giungono rispettivamente questo liquido e il mercurio nel cannello del termometro, sono evidentemente proporzionali alle dilatazioni apparenti, e perciò si ha:

$$\frac{3}{20} = \frac{367}{774400} : \frac{1}{6480}, \text{ d'onde } h = 61,45.$$

LXXI. Dopo avere diviso un tubo capillare in 180 parti di eguale capacità, si è trovato che una colonna di mercurio, la quale occupa 75 di queste divisioni, pesa $1^{gr.},2$ a zero gradi. Volendosi costruire con questo tubo un termometro, si domanda quale raggio debba avere il serbatojo sferico che si deve saldare al tubo, affinchè le 180 divisioni del medesimo comprendano 150 gradi centesimali.

Siccome 25 divisioni del tubo contengono $1^{gr.},2$ di mercurio a zero, una sola divisione ne contiene $\frac{1^{gr.},2}{25}$ e le 180 divisioni ne contengono

$\frac{1^{gr.},2 \times 180}{25} = 8^{gr.},64$. Queste divisioni devono comprendere 150 gradi; adunque il peso del mercurio corrispondente a ciascun grado è $\frac{8^{gr.},64}{150}$.

Ma siccome la dilatazione corrispondente ad un grado non è altro che il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro (§ 262), così il peso $\frac{8^{gr.},64}{150}$ deve essere $\frac{1}{6480}$ del peso del mercurio contenuto nel serbatojo. Ora, rammentando che il peso specifico del mercurio è 13,596 e denominando R il raggio del serbatojo, il peso del mercurio contenuto in quest'ultimo a zero gradi si trova espresso da

$\frac{4\pi R^3 \times 13,596}{3}$; dunque si ha

$$\frac{4\pi R^3 \times 13{,}596}{3} \times \frac{1}{6480} = \frac{8.64}{150} \text{ da cui } R = 1^{cent.},87.$$

LXXII. Si sono osservate le altezze di due barometri A e B, la prima a 10 gradi l'altra a $+15$; si domanda quale correzione debba farsi a queste osservazioni per ridurle a quelle che si sarebbero ottenute alla temperatura zero, sapendosi che il coefficiente di dilatazione cubica del mercurio è $\frac{1}{5550}$. Si supporrà l'altezza del barometro A di 737 millimetri, e quella di B 763.

Questo problema si risolve per mezzo della formola $H = h\,(1 + Dt)$ (§ 267) prendendo t col segno $+$ per la temperatura al di sopra di zero e col segno $-$ per la temperatura inferiore a zero. Da questa formola si cava $h = \frac{H}{+ Dt}$. Quest'ultima dà, pel barometro A,

$h = 737 \times \frac{5550}{5550 - 10} = 738^{mill.},3$; e, pel barometro B,

$$h = 763 \; \frac{5550}{5550 + 15} = 760^{mill.},9.$$

LXXIII. La pressione atmosferica fa salire il mercurio a $0^m,76$ nel barometro alla temperatura 0°; si domanda: 1° a quale altezza si innalzerebbe il mercurio se la temperatura fosse di 25°, supposto il coefficiente di dilatazione del mercurio $\frac{1}{5550}$: 2° a quale altezza si eleverebbe, alla temperatura 0°, l'alcool, il cui peso specifico è 0,79. Si suppose il peso specifico del mercurio 13,59.

1.° Rappresentando con H l'altezza del barometro a 25° e con h la sua altezza a 0°, la formola

$$H = h\left(1 + \frac{t}{5550}\right) \text{ (§ 267) dà } H = 76\left(1 + \frac{25}{555}\right) = 76^{cent},34$$

2.° Le altezze di mercurio e di alcoole, che fanno equilibrio alla pressione atmosferica, essendo in ragione inversa dei loro pesi specifici, quando si rappresenti con h' l'altezza dell'alcoole, si ha:

$$h' \times 0,79 = 76 \times 13,6 \text{ da cui } h' = \frac{76 \times 13,59}{0,79} \ 13^m,0835.$$

LXXIV. Una colonna d'acqua dell'altezza di $1^m,55$ ed una colonna di un altro liquido alta $3^m,17$ si equilibrano nei due rami di un sifone, mentre la temperatura di ambedue i liquidi è di 4 gradi: si domanda 1.° quale è il peso specifico del secondo liquido rispetto all'acqua; 2.° a quale altezza si innalzerebbe questo secondo liquido se la sua temperatura salisse a 25 gradi mentre l'acqua rimane a 4°, ammesso che il coefficiente di dilatazione del suddetto liquido fosse $\frac{1}{6000}$

1.° Dovendo le altezze delle colonne liquide, che si fanno equilibrio, essere in ragione inversa dei loro pesi specifici (§ 89), si ha $1^m,55 \times 1 = 3,17\ d$, da cui $d = 0,4889$, valore del peso specifico del secondo liquido a 4°.

Chiamando h l'altezza incognita del secondo liquido alla temperatura di 25 gradi e d' il suo peso specifico a questa temperatura si ha

$$3^m,17 \times d = h \times d' = (1). \text{ Ora } d' = \frac{d}{1 + \frac{1}{6000} \times 25}$$

(§ 257, probl IV) Sostituendo questo valore di d' nella equazione (1) si ha:

$$3^m,17 = \frac{h}{1 + \frac{25}{6000}}, \text{ quindi } h = 3^m,183.$$

LXXV. Il rapporto tra il peso specifico del rame a 0° e quello dell'acqua a 4° è 8,88; il coefficiente dilatazione cubica del rame è $\frac{1}{5 \cdot 200}$, e la frazione che rappreesenta la dilatazione totale dell'acqua per ogni unità di volume da 4 gradi a 15 è $\frac{1}{1360}$. Ciò posto, si domanda quale è a 15 gradi il rapporto dei pesi specifici di questi due corpi.

Il volume d'aqua che pesa 1 a 4°, a 15° pesa $\frac{1}{1+\frac{11}{1360}}$ (§ 257 problema IV).

Un eguale volume di rame che pesa 8,88 a 0° a 15° pesa $\frac{8,8}{1+\frac{15}{58200}}$.

Dunque il rapporto dei pesi specifici a 15° è

$$\frac{88.8}{1+\frac{15}{58200}} : \frac{1}{1+\frac{1}{1360}} = \frac{88.8 \times 58200}{58215} \times \frac{1371}{0136} = 8,91.$$

LXXVI. Si hanno due termometri a mercurio costrutti colla stessa sorta di vetro: il bulbo dell'uno ha il diametro interno di 0m,0075, e il suo cannello ha il diametro interno di 0m0025; il bulbo dell'altro ha il diametro di 0m,0062 ed il suo cannello di 0m,0015. Si domanda quale è il rapporto della lunghezza di un grado pel primo termometro a quello di un grado del secondo.

Si chiamino A, B i due termometri: D, D' i diametri del loro bulbi; d e d' i diametri dei cannelli. S'immagini un terzo termometro C che abbia il bulbo eguale a quello di B e il cannello eguale a quello di A. Denominando l, l' l'' rispettivamente le lunghezze di un grado in ciascuno di questi tre termometri, si avrà

$$\frac{l}{l''} = \frac{D^3}{D'^3} \text{ ed } \frac{l''}{l'} = \frac{d'^2}{d^2}.$$

Moltiplicando queste due equazioni membro per membro, si ottiene:

$$\frac{l}{l'} = \frac{D^3 d'^2}{D'^3 d^2}.$$

Sostituendo alle lettere i loro valori particolari dati dall'enunciato del problema, si ha:

$$\frac{l}{l'} = \frac{421875 \times 225}{238328 \times 625} = 0,63.$$

LXXVII. Un vase sferico del diametro di $0^m,25$ è pieno di gas idrogeno alla temperatura di 35 gradi ed alla pressione $0^m,78$. Si domanda il peso del gas, ed inoltre quale ne sarebbe il volume se la temperatura scendesse a 5 gradi sotto zero e la pressione a $0^m,74$.

Capacità del vase $= \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416\ (1,25)^3}{3} = 8^{lit.},18123.$

Ora, un litro d'aria a $0°$ ed alla pressione $0^m,76$ pesa $1^{gr},3$; quindi un litro di gas idrogeno alla stessa temperatura ed alla stessa pressione pesa $1^{gr},3$ moltiplicato per il peso specifico dell'idrogeno, cioè $1^{gr},3 \times 0,0692$. Alla pressione $0^m,78$ il peso di un litro di idrogeno è dunque $\frac{1,3 \times 0,0692 \times 78}{76}$; finalmente, a questa stessa pressione ed a 35^0, il peso di un litro di idrogeno è $\frac{1,3 \times 0,0692 \times 78}{76\,(1+0,003668 \times 35)}$ (§ 267, probl. VI), e quindi il peso dell'idrogeno contenuto in caso nel vase è $\frac{1,3 \times 0,0692 \times 78 \times 8,181}{76\,(1+0,003668 \times 35)} = 0^{gr},669.$

Per avere poi il volume del gas a -5^0, si fa uso della formola $v' = \frac{v(1+\alpha t')}{1+\alpha t}$ (§ 270, probl. IV) ponendo innanzi a t' il segno —, e così si trova che il volume a -5^0 ed alla pressione $0^m,74$ è

$$\frac{8,181\ (1 - 0,003668 \times 5) \times 78}{(1 + 0,003668 \times 35)\ 74} = 7^{lit},500.$$

LXXVIII. È stato posto un barometro in un ampio tubo, il quale in seguito fu chiuso alla lampada. La temperatura del tubo al momento in cui venne chiuso era di 13^0 e l'altezza del barometro $0^m,76$. Supposto che la temperatura dell'aria nel tubo sia diventata 30^0, si domanda l'altezza a cui si innalzerà il mercurio nel barometro, con approssimazione di $0^m,001$.

Tenendo conto dapprima soltanto della dilatazione del mercurio nel tubo barometrico nel passaggio da 13 a 30^0, l'altezza ridotta sarebbe

$$h = \frac{76\left(1 + \frac{30}{5550}\right)}{1 + \frac{13}{5550}} = \frac{76 \times 5580}{5563};$$

ma siccome nel tubo chiuso la forza elastica dell'aria cresce nel rapporto di $1 + 13\alpha$ ed $1 + 30\alpha$, così l'altezza barometrica crescerà nel medesimo rapporto, e perciò sarà espressa da

$$\frac{76 \times 5580\ (1 + 30\alpha)}{5563\ (1 + 13\alpha)} = 80^{cent.}762$$

LXXIX. A quale temperatura un litro d'aria secca pesa 1 grammo sotto la pressione di $0^m,77$, ammesso che un litro d'aria secca a 0^0 ed alla pressione $0^m,76$ pesi $1^{gr},299$ e che il coefficiente di dilatazione dell'aria sia 0,00366?

Si ha $\frac{1,299 \times 77}{(1 + 0,00366 \times t)\ 76} = 1^{gr}$, da cui $t = 86^0$.

LXXX. Un pallone vuoto pesa $137^{gr}435$; pieno d'aria pesa $145^{gr},237$, e pieno di un altro gas pesa $152^{gr}18$. Si domanda: 1.° il peso specifico del gas rispetto all'aria, supponendo che la temperatura e la pressione non abbiano variato; 2.° il peso specifico del gas rispetto all'aria, supponendo che la pressione sia stata di 75 centimetri, mentre si pesava il pallone vuoto e pieno d'aria, e di 77 centimetri, quando si pesava pieno dell'altro gas; 3° quale correzione bisognerebbe fare se la temperatura fosse stata di 8 gradi quando si pesava il pallone vuoto e pieno d'aria, e ad 11 gradi mentre si pesava pieno dell'altro gas.

1.° $145,237 - 137,435 = 7^{gr},802$; $152,118 - 137,435 = 14^{gr}383$; peso specifico del gas $= \frac{14\ 683}{7,802} = 1,8819$.

2.° Essendo $7^{gr},802$ il peso dell'aria alla pressione di 75^c, esso sarà $\frac{7,802 \times 75}{76}$ alla pressione di 76_c; parimenti, siccome il peso del gas è 14,683 alla pressione di 77_c, esso sarebbe $\frac{14,683 \times 77}{76}$ alla pressione 67^c; pertanto il peso specifico del gas è $\frac{14,683 \times 77}{7,802 \times 75} = 1,9321$.

3.° Bisognerebbe ridurre prima i pesi trovati dei due gas a quelli corrispondenti alla temperatura zero, moltiplicando il peso dell'aria per $1 + 0,00366 \times 8$, e quello dell'altro gas per $1 + 0,00366 \times 11$.

LXXXI. Una vescica a pareti flessibili contiene 4 litri d'aria a 30^0 ed alla pressione $0^m,76$. Supponendo che non varii la pressione atmosferica, si domanda quale sarà il volume di quest'aria allorchè siasi introdotta la vescica a 100 metri di profondità in un lago la cui temperatura è di 4^0

Siccome una colonna d'acqua di $10^m,33$, alla temperatura di 4^0, rappresenta un'atmosfera (§ 135), si traducono i 150 metri d'acqua in atmosfere dividendo 100 per 10,33, e così si ottiene per quoziente $9^{atm},68$. Adunque la vescica entro l'acqua è soggetta alla pressione di $10^{atm},68$ e perciò il problema può enunciarsi così: essendo 4 litri il volume dell'aria a 30^0 e alla

pressione di 1 atmosfera, quale ne sarà il volume a 4° e alla pressione 10atm.,68? Pertanto, giusta il § 267, si ha

$$V = \frac{4\,(1 + 0{,}00367 \times 4)}{1 + 0{,}0367 \times 30} \cdot \frac{1}{1{,}68} = 0^{lit.},342.$$

LXXXII. Un pallone di vetro della capacità di 5 litri a 0° è empito di acido carbonico a 0° ed alle pressione 0m,76. Si scalda il pallone 100° dopo averlo aperto per lasciare libera l'uscita al gas, e alla fine dell'esperimento la pressione è 0m,75: si domanda il peso dell'acido carbonico uscito dal pallone.

Si ammette per dato che il coefficiente di dilatazione dell'acido carbonico è 0,00367, quello di dilatazione cubica del vetro $\frac{1}{38700}$; inoltre che 1 litro d'aria a 0° ed alla pressione 0m,76 pesa 1gr.,293 e, finalmente, che la densità dell'acido carbonico è 1,5.

A 100° ed alla pressione 0m,75, il volume dell'acido carbonico diventa

$$\frac{5\,(1 + 0{,}00367 \times 100)\,76}{75} = 1^{lit.},926\,;$$

Alla stessa temperatura la capacità del pallone è $5 + 5\left(\frac{100}{38700}\right) = 5^{lit.},013.$

Dunque il volume del gas uscito è $6{,}926 - 5{,}013 = 1^{lit.},913$.

Per ottenere il peso di questo gas, sapendo che 5 litri d'acido carbonico a 0° ed alla pressione 0m,76 pesano $5 \times 1{,}293 \times 1{,}5 = 9^{gr.}697$, e che, per conseguenza, 6lit.,926 a 100° ed a 0m,76 pesano altrettanto, si istituirà la proporzione $\frac{x}{9{,}697} = \frac{6{,}913}{6{,}926}$, da cui $x = 2^{gr.},678$.

LXXXIII. In un pallone di vetro, la cui capacità, a 0°, è 250 centimetri cubi si è introdotta una certa quantità d'aria secca, la quale occuperebbe 25c.c. a 0° e alla pressione 0m,76. Si domanda la pressione entro questo pallone, che si suppone chiuso e scaldato a 100°.

Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00367 e il coefficiente di dilatazione cubica del vetro $\frac{1}{38700}$ A 100° la capacità del pallone è $250\left(1 + \frac{100}{38700}\right) = \frac{250{,}388}{387}$. A 100° ed alla pressione 0m,76 il volume d'aria libera sarebbe $25\,(1 + 0{,}00367 \times 100) = 25 \times 1{,}367$, mentre il suo volume reale è $\frac{25{,}0388}{387}$ ad una pressione incognita x.

Ora, al volume $25 \times 1,367$ corrisponde la pressione 76;

al volume 1 — la pressione $76 \times 25 \times 1,367$;

ed al volume $\frac{250 \times 388}{387}$ — la pressione $\frac{76 \times 25 \times 1,367 \times 387}{250 \times 388}$

$= 10^{c.},36.$

LXXXIV. Un corpo, pesato nell'aria a 0° ed alla pressione $0^{m},86$, perde $C^{gr.}$ del suo peso. Si domanda: 1° il volume del corpo; 2° la sua perdita di peso a 15° ed alla pressione $1^{m}25$.

Si ammette per noto che la densità dell'aria rispetto all'acqua è $\frac{1}{770}$, che il suo coefficiente di dilatazione è 0,00366, e si trascura la dilatazione del corpo.

1.° Siccome un decimetro cubo d'acqua pesa $100^{gr.}$, lo stesso volume d'aria a 0° ed a $0^{m},76$ pesa $\frac{1000}{770} = \frac{100}{77}$. Dunque il volume d'aria spostata e, per conseguenza, il volume del corpo. è

$$6,327 : \frac{100}{77} = \frac{6,327 \times 77}{100} = 4^{dec.\ cub.},872.$$

2° Per avere la perdita di peso a 15° ed alla pressione $1^{m}25$, bisogna cercare il peso di $4^{lit.},872$ di aria in queste condizioni di temperatura e di pressione. Ora, questo peso è $\frac{100}{77} \times \frac{4,872 \times 125}{(1 \times 0,00366 \times 15)\,76} = 9^{gr.},87.$

Tale dunque è la perdita di peso richiesta.

LXXXV. Avendosi un corpo il cui coefficiente di dilatazione lineare è $\frac{1}{2400}$ e il cui volume alla temperatura di 10°,8 è di 5182 metri cubi si domanda quale perdita di peso esso subisce nell'aria a questa temperatura, e quale perdita subirebbe alla temperatura di 25°,13.

A 10°,8 la perdita di peso è $\frac{1^{gr.},293 \times 1000 \times 5182}{1 + 0,00367 \times 10,8} = 6145^{ch.}$

del corpo è A 25°,13, il volume $\frac{5182\left(1 + \frac{3 \times 25,13}{2400}\right)}{1 + \frac{3 \times 25,13}{2400}}$, e per conseguenza la sua perdita di peso è

$$\frac{1^{gr.},293 \times 1000 \times 5182\left(1 + \frac{3 \times 25,13}{2400}\right)}{(1 + 0,00367\left(1 + \frac{3 \times 10,8}{2400}\right)} = 6242^{ch.},9.$$

Calorico specifico e latente.

LXXXVI. Un vase metallico, che pesa 350 grammi, contiene $32^{ch},50$ di acqua a $14^0,5$; il calorico specifico del metallo è 0,12 supposto 1 quello dell'acqua: si pongono entro l'acqua contenuta nel vase $8^{ch}25$ di un altro metallo a $60^0,5$, e la temperatura dell'acqua sale allora a $15^0,4$; si domanda il calorico specifico del secondo metallo, fatta astrazione dalla perdita o guadagno proveniente dall'aria circostante.

Dalla formola nota (§ 332) $c = \frac{(m + m'c') (\theta - t)}{M (T - \theta)}$, sostituendo in essa i valori numerici dati nell'enunciato, si ha

$$c = \frac{(32,5 + 0,35 \times 0,12) (15,4 - 14,5)}{8,25 (60,5 - 15,4)} = 0,0787.$$

LXXXVII. Si domanda quale temperatura avrà l'acqua che si ottiene mescolando 3^{ch} di ghiaccio con 45^{ch} di acqua a 32^o.

Si ha $45 (32 - t) = 3,5 \times 79 + 3,5\, t$, da cui $t = 23^o,9$.

LXXXVIII. In $25^{ch},45$ d'acqua alla temperatura di 12^o5 si versano $6^{ch},17$ di una sostanza alla temperatura di 80^0, la mescolanza assume la temperatura di $14^o,17$; si domanda quale è il calorico specifico della sostanza immersa nell'acqua.

Rappresentando con c il calorico specifico domandato, si ha dal § 333 $6,17 (80 - 14,17)\, c = 25,45 (14,17 - 12,5)$, da cui $c = 0,104$.

LXXXIX. Viene immersa una sfera di platino del raggio di $0^m,05$ alla temperatura di 95^0 in due litri d'acqua a 4^0; si domanda quale sarà la temperatura dell'acqua allorchè siasi stabilito l'equilibrio. Il coefficiente di dilatazione del platino è 0,0000008842, il suo peso specifico 22,07 e il suo calorico specifico 0,0324.

Si chiamino V' il volume della sfera a 95^o e V il volume della stessa a zero; si ha $V = \frac{V'}{1 + kt}$ (§ 256).

Ora $V' = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,141592 \times 125}{3} = 523^{cent\ cub},598$;

dunque $V = \frac{523,598}{1 + 0,0000008842 \times 95} 523^{cent\ cub}, 158$.

Il peso della sfera di platino è pertanto

$$P = 323,158 \times 22,07 = 41^{ch}, 546.$$

Questa massa di platino, raffreddandosi da 95 ad x gradi, cede (§ 331) una quantità di calorico eguale a $11,547 \times (95 - x) \times 0,0324$, e i due litri d'acqua, scaldandosi da 4 ad x gradi, ne assorbiscono $2 \times (x - 4)$

Dunque si ha $2(x - 4) = 11,546 \times 0,0324 (95 - x)$, da cui $x = 18^0,3$.

XC. Supposto che la capacità dell'oro pel calorico sia 0,0298, prendendo per unità quella dell'acqua si domanda quanti chilogrammi di questo metallo a 45 gradi abbisognerebbero per innalzare da 12°, a 15°,7 la temperatura di 1ch,00058 d'acqua.

Si chiami x il peso domandato. Giusta la nota (§ 331) formola $(m\,t' - t)\,c$, il calorico ceduto dall'oro nel raffreddarsi da 45° a 15°,7, è

$$x\,(45 - 15,7) \times 0,0298,$$

e quello assorbito dall'acqua, nello scaldarsi da 12°,3 a 15°,7, è

$$1,00058\,(15,7 - 12,3)$$

Ma poichè la quantità di calorico ceduta dall'oro è necessariamente eguale a quella assorbita dall'acqua, si ha

$$x\,(45 - 15,7) \times 0,0298 = 1,00058\,(15,7 - 12,3),$$

da cui $x = 3^{ch},896$.

XCI. Un pallone sferico del raggio di 0m,14 è pieno di mercurio a 70°; questo mercurio è versato entro una massa d'acqua a 4°, la quale riempie per metà un vase cilindrico dell'altezze di 0m,14 e la cui base ha il raggio di 0m,20. Supposto che il calorico specifico del mercurio sia 0,033 si vuole conoscere quale sarebbe la temperatura del miscuglio, quando si trascurasse l'influenza delle pareti del vase.

Sia V il volume del pallone, R il suo raggio; si ha $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ e, nel caso dell'attuale problema, $V = \frac{4 \times 3,1416 \times 2^{dec\ cub},744}{3} = 11^{dec\ cub},494$.

Ora, assumendo il peso specifico del mercurio a 0° eguale a 13,6, il peso specifico del medesimo a 70° si avrà dalla formola

$$d' = \frac{d}{1 + kt}\ (\S 257),$$

la quale dà $d' = \dfrac{13,6}{1 + \dfrac{70}{5550}} = 13,4306.$

Per conseguenza, il peso del mercurio contenuto nel pallone è

$$11,494 \times 13,4306 = 154^{ch},372.$$

La metà del volume del cilindro è

$$\frac{\pi R^2 H}{2} = \frac{3,141592 \times 4 \times 4}{2}\ 25^{dec\ cub},133,$$

e il peso dell'acqua corrispondente a questo volume è 25ch,133,

Ciò posto, se si indica con θ la temperatura del miscuglio, l'acqua avrà assorbito una quantità di calorico rappresentata da $25,133\,(\theta - 4)$, e la quantità di calorico ceduta dal mercurio è $154,372 \times 0,033\,(70 - \theta)$, giusta le formole date al paragrafo 331. Dunque si ha l'equazione $154,372 \times 0,033\,(70 - \theta) = 25,133\,(\theta - 4)$, da cui si cava $\theta = 15°,18$.

XCII. Calcolare il potere calorifico dello stero di legno che pesa 4C00, ed è formato da un miscuglio di legno di quercia e di faggio, sapendo che la quercia pesa 450 chilogrammi ogni metro cubo e il faggio 325 chilogrammi, e inoltre che la quantità di acqua, la cui temperatura viene innalzata da 0 a 100 gradi per la combustione di un metro cubo di legno, è di 12150ch. per la quercia, e di 8775ch. per il faggio.

Sia x il volume di quercia che entra dello stero, ed y quello del faggio: si ha

$$x + y = 1 \quad (1).$$

Siccome un metro cubo di quercia pesa 450ch., il volume x peserà 450 x; parimenti 325 y è il peso del volume y di faggio: si ha dunque

$$450\ x + 325\ y = 400 \quad (2).$$

Risolvendo le equazioni (1), (2) si trova

$$x = \frac{3}{5} \text{ ed } y = \frac{2}{5}.$$

Ora, il potere calorifico di un metro cubo di quercia essendo 12150, quello del volume x è $12150 \times \frac{3}{5}$; parimenti quello del volume y è $8775 \times \frac{2}{5}$; dunque il potere calorifero domandato è

$$\frac{12150 \times 3 + 8775 \times 2}{5} = 10800.$$

XCIII. Supposto che con 30 chilogrammi d'acqua a 47 gradi siano mescolati 7 chilogrammi di ghiaccio, si domanda quale sarà la temperatura finale, dopo che il ghiaccio sarà fuso.

Sia θ la temperatura domandata. Essendo 79 il calorico di fusione del ghiaccio, 7 chilogrammi di ghiaccio assorbiscono, nel fondersi, 79×7 calorie; inoltre l'acqua ottenuta colla fusione del ghiaccio, scaldandosi da 0^0 a θ assorbisce 7θ calorie. Dall'altro lato, i 30 chilogrammi d'acqua, raffreddandosi da 47^0 a θ, cedono $30\ (47 - \theta)$ calorie. Si ha dunque

$$79 \times 7 + 7\theta = 30\ (47 - \theta), \text{ d'onde } \theta = 23^{\circ},16.$$

XCIV. Undici chilogrammi di ghiaccio a zero furono mescolati con P chilogrammi d'acqua a 45^0; il miscuglio assunse la temperatura di 12^0; si domanda il peso P.

Si ha $P\ (45 - 12) = 79 \times 11 + 12 \times 11$, donde P = 30ch.333.

XCV. Quanti chilogrammi di ghiaccio a 0^0 bisognano per liquefare e ridurre a zero 25 chilogrammi di vapore formatosi in un apparato in cui il termometro segna 100^0 e il barometro 0^m76?

Si ha $79\ x = 25 \times 540 + 25 \times 100$, da cui $x = 2\ 2^{ch.},5\ 2^{gr}$

XCVI. Si immerge una sfera di ghiaccio del raggio, di 134 millimetri in un bagno di 20 litri d' acqua a 80^0; si domanda quale sarà la temperatura del bagno tosto dopo la fusione del ghiaccio.

Chiamando V il volume della sfera ed R il suo raggio, si ha

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,141592 \times (0^m\ 134)^3}{3} = 10^{dec.\ cub.},078\ 57.$$

Essendo 0,93 (§ 103) il peso specifico del ghiaccio, il peso totale della sfera di ghiaccio è

$$10,07857 \times 0,93 = 9^{ch.},373.$$

Chiamando θ la temperatura del bagno dopo la fusione del ghiaccio, si ha dunque (vedi problema precedente).

$$79 \times 9,373 + 9,373\ \theta = 20\ (80 - \theta),\ \text{da cui}\ \theta = 29^\circ,26.$$

XCVII. Si domanda quanti chilogrammi di ghiaccio a zero abbisognano per ridurre a 10^0 la temperatura dell'acqua a 30^0, che emple sino a metà dell'altezza un recipiente a tronco di cono ed a basi orizzontali, supposto che la periferia della base superiore sia di $8^m,30$, quella dell' inferiore $6^m,16$, l'altezza del vase $1,^m76$.

Fig. 629.

Si denomini R il raggio OR (fig. 629) della base superiore, r il raggio CD della base inferiore, r' il raggio medio IE ed h l'altezza IC del liquido contenuto nel vase.

Dietro l'enunciato si ha $R = \frac{8,30}{3\pi} = 1^m,3210$, $r = \frac{6,15}{2\pi}\ 0^m,9788$, $IC = 0^m,88$

ed $r' = \frac{R + r}{2} = 1^m\ 1499.$

Ciò posto, siccome il volume del liquido è quello di un tronco di cono di altezza h e le cui basi hanno i raggi r ed r', denominando V questo volume, giusta un noto teorema di geometria, è

$$V = \frac{\pi h}{3}\ (r'^2 + r^2 + rr'),$$

e, sostituendo alle lettere i valori numerici,

$$V = \frac{3,1416 \times 0,88}{3}\left[(1,1499)^2 + (0,9788)^2 + 1,1499 \times 0,9788\right].$$

Effettuando i calcoli, si trova $V = 3^{met.\ cub.},138583$, al qual volume corrisponde il peso di chilogrammi 3138,583.

Ora, sia x il peso di ghiaccio che abbisogna per raffreddare questa massa d'acqua da 30^0 10^0. Siccome si è veduto (§ 339) che un chilogrammo di ghiaccio, fondendosi, assorbisce 79 unità di calorico, così x chilogrammi di ghiaccio ne assorbiranno 79 x per tramutarsi in x chilogrammi d'acqua a zero. Ma poichè, per dato della quistione, anche questi x chilogrammi devono essere scaldati da 10^0, sarà per ciò assorbita (§ 332) un'altra quantità di calorico eguale a 10 x. D'altronde, il calorico ceduto dall'acqua è eguale a 3138, 583 $\times$ (30 — 10), ossia 92771,76; dunque si ha l'equazione.

$$79x + 10\,x = 62770{,}6, \text{ da cui } x = 705^{ch.}, 3.$$

XCVIII. Quanti chilogrammi di vapore d'acqua a 100^0 abbisognano per scaldare 20 chilogrammi d'acqua da 0^0 a 90^0?

Sia x il numero di chilogrammi domandato. Essendo 540 il calorico latente del vapore d'acqua (§ 341), x chilogrammi di vapore, che si condensano per dare x chilogrammi d'acqua a 100^0, emettono 540 x calorie (§ 329) e gli x chilogrammi d'acqua, raffreddandosi da 10^0 a 90^0, danno $10x$ calorie. Ora 20 chilogrammi d'acqua per scaldarsi da 0^0 a 29^0, assorbiscono 20×90 calorie, dunque si ha l'equazione

$$540\,x + 10\,x = 20 \times 90, \text{ d'onde } x = 3^{ch.},272.$$

XCIX. Sapendo che il calorico latente del vapore acqueo è 540 si domanda quanti chilogrammi di vapore acqueo abbisognano per portare da 13 a 28 gradi un bagno di 246 chilogrammi d'acqua.

Sia x il richiesto peso di vapore: siccome un chilogrammo di vapore, che si condensa per dare un chilogrammo d'acqua a 100 gradi, cede 540 calorie, x chilogrammi di vapore ne cedono 540 $\times$ x; inoltre gli x chilogrammi d'acqua formatasi, raffreddandosi in seguito da 100 gradi a 28, cedono dal canto loro un numero di calorie rappresentato da (100 — 28) x (§ 331). Ora, siccome i 246 chilogrammi di acqua, che formano il bagno nel quale il vapore si condensa, si scaldano allora da 13 a 28 gradi, così assorbiscono 246 (28 — 13) calorie. Si ha dunque l'equazione

$$540\,x + (100 - 28)\,x = 246\,(28 - 13), \text{ ossia } (540 + 72)\,x = 246 \times 15;$$
$$\text{da cui } x = 0^{ch.},029^{gr.}.$$

C. Quanto vapore d'acqua, a 100^0, abbisogna per scaldare da 8^0 a 25^0 l'acqua contenuta in una vasca cilindrica a fondo piano del raggio di $1^m,25$ e che vi giunge all'altezza di $0^m,75$?

Il volume d'acqua è $\pi R^2 H = 3681^{lit.},562$ Pertanto, chiamando P il peso cercato, si ha

$$540\,P + (100 - 25)\,P = 3681^{ch.}, 562\,(25 - 8),$$
$$\text{da cui } P = 101^{ch.}\,766.$$

CI. Ammesso che il calorico latente del vapore d'acqua sia 540, si domanda a quale temperatura si scalderanno 20 litri d'acqua presa a 4°, condensando in essa 1 chilogrammo di vapore a 100°.

Si ha $1 \times 540 + 1 \times (100 - t) = 20\,(t - 4)$, da cui $t = 34°,28$.

CII. Una vasca cilindrica, a fondo piano ed orizzontale del diametro interno di 1m, 30 ed alta internamente 0m75 è piena per metà di acqua a 4°, e questo liquido viene scaldato introducendovi il vapore a 100° somministrato da 5ch., 25 di acqua. Si domanda quali saranno la temperatura ed il volume finale del bagno così scaldato.

Il volume primitivo dell'acqua è

$$= \pi R^2 \times \frac{H}{2} = 3{,}1416 \times (0^m{,}65)^2 \times \frac{0{,}75}{2} = 497^{lit.}.747.$$

Chiamando θ la temperatura finale, siccome il calorico latente del vapore d'acqua è 540, si avrà (342 prob. V e problema precedente)

$5{,}25 \times 540 + 5{,}25\,(100 - \theta) = 497\,747\,(\theta - 4)$, d'onde $\theta = 10°{,}6$.

Il volume totale dell'acqua dopo la condensazione, se l'acqua restasse a 4 gradi, sarebbe $497^{lit.},747 + 5^{lit.}250 = 502{,}697$.

Epperò, prendendo per coefficiente di dilatazione dell'acqua $\frac{1}{2200}$, il volume

di quest'acqua a 0° sarebbe $\dfrac{502.997}{1 + \dfrac{1}{2200} \times 4}$ ed a 10°,6 è

$$\frac{102{,}997 \times \left(1 + \dfrac{10.6}{2200}\right)}{1 + \dfrac{4}{2200}} = 504^{lit.},503.$$

Vapori e Macchine a vapore.

CIII. In un vase vuoto della capacità di $2^{lit.},02$ è stato introdotto dapprima un litro d'aria secca alla pressione di 0m,76 e alla temperatura di 30°: poi dell'acqua in tale quantità che ne rimangono da ultimo 20 centimetri cubi allo stato liquido. Si domanda il valore della pressione finale entro il vase, sapendosi che la tensione massima del vapore d'acqua alla temperatura di 30° è 0m,031.

Essendo la capacità del vase diminuita di 20 centimetri cubi, l'acqua, che vi rimane allo stato liquido, non è veramente che di $2^{lit.},02$ meno $0^{lit.},02$, ossia 2 litri. Il volume dell'aria si è dunque raddoppiato nel vase, epperò la sua tensione, che era di 0m,76, si è ridotta, conformemente alla legge di Mariotte, a 0m,38. Aggiungendo a questa pressione quella del vapore che è 0m,031, si ha la totale pressione interna 0m,411.

CIV. Una certa quantità d'aria pesa $5^{gr.},2$ alla temperatura di zero gradi e sotto la pressione $0^m,76$. Si scalda quest'aria a $30°$ sotto la pressione $0^m,77$ e la si lascia saturare di vapore d'acqua. Si domanda quale volume avrà allora l'aria, sapendosi che la tensione massima del vapore d'acqua a $30°$ è di $0^m,0315$ e che un litro d'aria secca a $0°$ e sotto la pressione $0^m,76$ pesa $1^{gr.},3$.

Essendo $1^{gr.},3$ il peso di un litro d'aria secca a 0^0 e sotto la pressione $0^m,76$, il volume corrispondente a $5^{gr.}2$, sarà $\frac{5.2}{1.3} = 4$ litri. A 30^0 adunque il volume è $4\,(1 + 0{,}00366 \times 30)$, il quale, alla pressione di $0^m,77$, diviene $\frac{4 \times 76\,(1 + 0.00366 \times 30)}{77}$ per l'aria secca. Ma essendo l'aria satura di vapore, la cui tensione è di $0^m,315$, la pressione di $0^m,77$ fa equilibrio a questa tensione aumentata dalla forza elastica dell'aria, come risulta dalla seconda legge delle mescolanze dei gas e vapori (§ 313). Adunque la pressione dell'aria è di $0^m,77 - 0^m,0315$, epperò il volume domandato è $\frac{7 \times 76\,(1 + 0.00366 \times 30)}{77 - 3{,}15}$ $4^{lit.},16$.

CV. Il peso di un litro d'aria a zero e alla pressione $0^m,75$ è $1^{gr.},293$, e il peso specifico del vapore d'acqua, relativamente all'aria, è $\frac{5}{8}$. Si domanda ora quale sia a 30^0 ed alla pressione $0^m,77$ il peso di un metro cubo d'aria il cui stato igrometrico è $\frac{3}{4}$, sapendosi che la tensione massima del vapore a 30^0 è 0^m0315.

Incominciamo dall'osservare che essendo $0^m,0315$ la tensione massima del vapore, quando lo stato igrometrico è soltanto $\frac{3}{4}$, la sua tensione soltanto $\frac{3}{4}$ di $0^m,0315$. Inoltre l'aria, di cui si cerca il peso, non è, giusta la legge dei miscugli (313), alla pressione $0^m,77$, ma a questa pressione diminuita di quella del vapore, cioè alla pressione $(0^m,77 - \frac{3}{4}\,0^m,0315)$,

Per risolvere adunque il problema si deve dapprima cercare il peso di un metro cubo d'aria secca a 30^0 e alla pressione $(0^m,77 - \frac{3}{4}\,0^m,0315)$, indi quello di un metro cubo di vapore a 30^0 ed alla tensione $\frac{3}{4}\,0^m,3015$ e da ultimo sommare i due pesi.

1.° A 30° ed alla pressione $0^m,77 - \frac{3}{4} 0^m,0315 = 0^m7464$, un metro cubo d' aria secca pesa $\frac{1293^{gr.} \times 74\ 64}{(1+30\alpha)\ 76}$ (1);

2.° A 30° e alla pressione $\frac{3}{4}$ $0^m,0315$, un metro cubo di vapore pesa

$$\frac{1290^{gr.} \times 3,15 \times 5 \times 3}{(1+3\alpha)\ 76 \times 8 \times 4} \ (2).$$

Secondo le espressioni (1) e (2) si ha il peso domandato, cioè

$$\frac{120\ gr.}{(1+50\alpha)\ 76}\left\{74,84 + \frac{3\ 15 \times 5 \times 3}{8 \times 4}\right\} = 1162^{gr.},6$$

CVI. Dati 6 litri d' aria alla temperatura di 30°, alla pressione $0^m,76$ e di cui lo stato igromatico è $\frac{3}{4}$, si domanda quale volume essa prenderà alla stessa temperatura e alla stessa pressione dopo averla agitata con acido solforico concentrato, e quale aumento di peso assumerà l'acido solforico. La tensione massima del vapore acqua a 30° è $0^m,0315$ e il rapporto della densità del vapore acqueo a quella dell'aria è $\frac{5}{8}$.

Essendo, $3^c,15$, la tensione massima, allo stato igrometrico $\frac{3}{4}$, la tensione è $\frac{3}{4}$ di $3^c,15$, cioè $2^c,36$; dunque i 3 litri di aria umida hanno la pressione $76 - 2,36 = 73,64$. Pertanto trattasi di cercare il volume a cui si riducono questi 3 litri passando dalla pressione 73,64 alla pressione 76, con che si ottiene il volume cercato $\frac{3 \times 73\ 64}{76}$ $2^{lit.},906$.

Il peso poi dei 3 litri di vapore a 30° ed alla pressione 2,36 è espresso da $\frac{1^{gr.}293 \times 2.36 \times 5 \times 3}{(1+0,000\ 367 \times 30)\ 76 \times 8} = {}^{gr},067$.

Tale è dunque l'incremento di peso che piglierà l' acido solforico.

CVII. Si domanda quale peso può sollevare ad 8 metri in ogni minuto primo una macchina a vapore, facendo astrazione da qualsiasi resistenza, quando il manometro della caldaja segni 2 atmosfere e $\frac{3}{4}$ e lo stantuffo abbia 22 centimentri di raggio e compia una corsa di $1^m,15$ ogni secondo.

Siccome il raggio dello stantuffo è di 22 centimetri, la superficie di una sua base sarà $\pi R^2 = 1520^{cent.\ qu.}, 5^?$. Ora, siccome la pressione sopra un

centimetro quadrato è di $1^{ch},033$ per una atmosfera (§ 176), così per 2 atmosfere e $\frac{3}{4}$ è di $1^{ch},033 \times \left(2+\frac{3}{4}\right) = 2^{ch},841$. La pressione poi su tutta la base dello stantuffo è $2^{ch}, 841 \times 1520,53 = 4319^{ch},825$.

Siccome poi la corsa dello stantuffo è di $1^{m}25$ al secondo, così può sollevare in un secondo $4319^{ch},825$ all'altezza di $1^{m},25$.

Nello stesso tempo solleverebbe all'altezza di un solo metro chilogrammi $4319,825 \times 1,25$: per conseguenza il peso sollevato ad 8 metri in un secondo sarà $\frac{4319.825 \times 1.25}{8}$, e, finalmente, il peso sollevato in un minuto primo sarà $\frac{4319.825 \times 1.25 \times 60}{8} = 899996$ chilogrammi.

Ottica.

CVIII. Paragonando, per mezzo del fotometro di Rumford (§ 404), l'intensità di una lampada Carcel a quella di una candela, si è trovato che le ombre portate sul diaframma appariscono egualmente intense quando la candela è alla distanza di 2 metri dal diaframma e la lampada a $4^{m},74$. Quale è la facoltà rischiarante della lampada in confronto di quella della candela presa per unità?

Sia 1 la intesità della luce della lampada alla distanza 1; la intensità sua alla distanza di $4^{m},74$, sarà $\frac{1}{(4,74)^2}$ (§ 413); parimenti, quella della candela, che è 1, alla unità di distanza, sarà $\frac{1}{4}$ alla distanza di due metri. Ma a questa distanza le due sorgenti danno eguale illuminazione, quindi si ha

$$\frac{1}{(4,74)^2} = \frac{1}{4}, \text{ da cui } I = \frac{(4,74)^2}{4} = 5,617.$$

CIX. Una lampada ed una candela sono distanti l'una dall'altra di $3^{m},15$, e, presa per unità la facoltà rischiarante della candela all'unità di distanza, quella della lampada è 5, 6. A quale distanza si deve collocare un diaframma sulla linea retta che passa per le due sorgenti di luce affinchè ambedue lo illuminino egualmente?

Sia x la distanza domandata; la distanza del diaframma dalla candela sarà $3,15 - x$. Ciò posto, la intensità della luce della lampada, che è 5,6 alla distanza 1, alla distanza x è invece $\frac{5,6}{x^2}$; e quella della candela, alla

distanza 3,15 — x, è $\frac{1}{(3,15-x)^2}$. Ma il diaframma deve essere iluminato egualmente dalle due luci, quindi si ha l'equazione

$$\frac{5,6}{x^2}=\frac{1}{(3,15-x)^2},\ \text{ossia}\ \left(\frac{3,15-x}{x}\right)^2=\frac{1}{5,6}=\frac{10}{56}=\frac{5}{28}$$

ed estraendo la radice $\frac{3,15-x}{x}=\pm\sqrt{\frac{5}{28}}=\pm\,0,422$, da cui si deducono i due valori $x=2^m,21$, $x=5^m\,45$. Il primo corrisponde ad un punto posto tra le due sorgenti; il secondo dà un punto posto sul prolungamento della retta che passa per esse.

CX. Davanti ad uno specchio sferico concavo del raggio di $0^m,95$ è collocato, alla distanza di $0^m,4$, un oggetto BD (fig. 630) la cui altezza

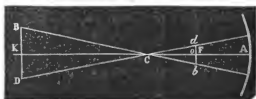



Fig 630.

è $0^m,12$; si vuole conoscere la distanza dell' immagine dallo specchio e la sua grandezza.

Questo problema si risolve colla formola $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{R}$ dimostrata al paragrafo 430; nella quale p rappresenta la distanza dell' oggetto dallo specchio, p' la distanza dell'immagine ed R il raggio di curvatura dello specchio. Dietro l'enunciato del problema, si ha $p=340^{cent}$, $R=95^{cent}$; sostituendo nella equazione precedente risulta

$$\frac{1}{340}+\frac{1}{p}=\frac{2}{95}.$$

Togliendo i denominatori si trova $95p'+340\times 95=2\times 340p'$, ossia $585p'=32300$, da cui $p'=55^{cent},2$.

Per calcolare la grandezza bd dell'immagine bisogna rammentare quanto si disse al paragrafo 432, dove si è veduto che essendo simili i triangoli BCD, Cbd (fig. 630) si ha $\frac{bd}{BD}=\frac{Co}{CK}$, da cui $bd=\frac{BD\times Co}{CK}$. Ora, per ipotesi, $BD=1^{cent}$, $CK=p-R=340^{cent}-93^{cent}=245^{cent}$, e, atteso il valore di p', si ha

$$Co=CA-Ao=95^{cent}-55^{cent},2=39^{cent},8;\ \text{dunque}$$

$$bd=\frac{12\times 39,8}{245}=1^{cent},95.$$

PROBLEMI CON SOLUZIONE SENZA DIMOSTRAZIONE.

I. Si domanda il peso P di un masso di marmo di forma cilindrica dell'altezza di $3^m,75$ e del diametro di $8^m,85$, supposto che il peso specifico del marmo sia 2,72.

$$P = 5788^{chil.},005^{gr.}$$

II. Quale è il diametro di un filo d'oro che pesa $26^{gr.}$ per ciascun metro di lunghezza?

Supposto il peso specifico dell'oro 19,36, il diametro richiesto è $0^m,0001307$.

III. Quale è il diametro d di un filo d'argento lungo 125 metri e del peso di 6 grammi, supposto il peso specifico dell'argento 10,474.

$$d = 0^{cent},0076.$$

IV. Il peso di una sfera del diametro di $0^m,50$ si trovò di 561^{chil}, 731: si domanda quale sia il peso specifico D della sostanza di cui essa è formata.

$$D = 8,58.$$

V. Si domanda il peso P e il raggio R di una sfera d'oro fuso, sapendosi che la periferia di un suo circolo massimo è $0^m,3248$ e che il peso specifico dell'oro fuso è 19,26.

$$R = 0^m,3169\,;\ P = 11^{chil},145^{gr}.$$

VI. Un cilindro di ottone pesa 50 chilogrammi; la circonferenza della sua base è di $0^m,65$: si domanda l'altezza h del cilindro, essendo noto che il peso specifico dell'ottone è 8,44?

$$h = 0^m,1762.$$

VII. Quale è la grossezza p della parete di ottone d'una sfera cava il cui diametro interno è di $0^m,85$, essendo $67^{ch},8$ il peso totale della medesima e 8,39 il peso specifico dell'ottone?

$$p = 0^m,01.$$

VIII. Trovare, a meno di un centimetro, il raggio R di una sfera di piombo del peso di 427 chilogrammi, ammesso che il peso specifico del piombo sia 11,35.

$$R = 0^m,223.$$

IX. Calcolare la lunghezza l dello spigolo di un tetraedro regolare formato con oro il cui peso specifico è 19,6, sapendo che il peso totale del corpo è di 2^{ch}.

$$l = 0^m,096.$$

X. Calcolare il peso di un pezzo di granito, che ha la forma di un tronco di piramide a basi quadrate, sapendo che il lato della base maggiore è $3^m,55$, e quello della minore $0^m,87$, e conoscendosi in oltre che ogni metro cubo di granito pesa 2780 chilogrammi.

$$\text{Volume del tronco} = 15^{met.\ cub.},241721.$$

$$\text{Peso} = 2780^{ch} \times 15,241721 = 42372^{ch},984.$$

XI. Su un vase cilindrico, la cui base riposa sopra un piano orizzontale e il cui diametro interno è di $0^{m},1$, sono versati 12 chilogrammi di mercurio; si domanda a quale altezza a giungerà, entro il vase, il liquido, ammettendo che il suo peso specifico sia 13,596.

$$a = 11^{cent},24.$$

XII. Un vase foggiato a tronco di cono dell'altezza di 28 centimetri, e i cui raggi delle basi sono 12 e 15 centimetri, è pieno di un liquido del peso specifico 1,82: si domanda il volume V e il peso totale P del liquido contenuto nel vase.

$$V = 16^{lit},498; P = 30^{ch.},0268.$$

XIII. Un vase cilindrico del diametro di $0^{m},315$ è stato empito d'acqua fino ad un certo livello il 1º luglio 1860: dopo cinque giorni si è trovato che, per ridurre il liquido allo stesso livello, si dovettero aggiungere $1^{ch.},520^{gr.}$ di acqua: si domanda l'altezza a dello strato d'acqua che si è evaporata

Supponendo che il peso dell'acqua aggiunta siasi misurato con errore minore di $1^{gr.}$, quale è il grado di approssimazione nella determinazione dell'altezza dello strato evaporato?

$$a = 0^{m},055. \text{ Errore assoluto } < 1 \text{ millimetro.}$$

XIV. Si ha un vase cilindrico dell'altezza esterna di 31 centimetri e del diametro pure esterno di 50. Le sue pareti metalliche hanno la grossezza di un centimetro e il peso specifico 7; si domanda:

1.º Quale è il peso P del vase;

2.º Quale è l'altezza a della parte del vase che starebbe immersa quando venisse collocato il vase a galleggiare sull'acqua?

$$P = 46^{ch.},071 \quad a = 23^{cent.},46.$$

XV. Un tubo cilindrico di bronzo ha la lunghezza di $0^{m},75$, il diametro interno di $0^{m},36$ e le pareti della grossezza di $0^{m},08$. Supposto che il peso specifico del bronzo sia 8,46, si domanda il peso p di questo tubo quando è vuoto e il peso P dello stesso tubo pieno d'acqua a 4 gradi.

$$p = 701^{ch.}657. \quad P = 777^{ch.},997.$$

XVI. Quale è il raggio r di una palla di cannone di ghisa il cui peso totale sia 24 chilogrammi, e il peso specifico 7,21?

$$r = 0^{dec.},794.$$

XVII. Una sfera di vetro pesa un chilogrammo; si domanda quale sia la sua superficie S, conoscendosi che il peso specifico del vetro è 2,7.

$$S = 2^{dec.qu.},488.$$

XVIII. Una sfera cava d'argento, vuota, pesa $726^{g.},01$; piena d'acqua a 4 gradi pesa $2521^{gr.},35$; si sa che il peso specifico dell'argento è 10,47; si domanda la lunghezza l della circonferenza di un circolo massimo della superficie sferica esterna.

$$l = 0^{m},4791.$$

XIX. Un corpo A pesa $8^{gr.},234$ nell'aria, $4^{gr.},425$ nell'acqua e $5^{gr.},417$ in un altro liquido B; si domanda il peso specifico di quest'ultimo liquido e quello del corpo A.

Il peso specifico del liquido B è 0,67, e quello del corpo A è 2,67.

XX. Un pezzo di metallo pesa nell' aria 7gr.234: nell' acqua 4gr.523; in un liquido A 5gr.,417; in un liquido B 3gr. 215. Si domanda il peso specifico del metallo e quello dei liquidi A, B.

Peso specifico del metallo 2,66
» del liquido A 0,670
» del liquido B 1,482.

XXI. Un cilindro sospeso ad uno dei bacini di una bilancia idrostatica ed immerso nell' acqua a 4.° vi rimase in equilibrio. Si scalda quest' acqua sino a 9.° Si domanda in qual verso sarà tolto l' equilibrio e quale peso bisognerà aggiungere per ristabilirlo?

Si farà uso dei dati seguenti: circonferenza della base del cilindro $= 0^m,135$; sua altezza $= 0^m,12$; peso specifico dell'acqua a quattro gradi $=1$: peso specifico dello stesso liquido a 9 gradi $= 0,999809$.

La bilancia inclinerà dal lato del cilindro, ed il peso da aggiungere per ristabilir l' equilibrio è 2gr.,0778.

XXII. Un cilindro di lamiera, chiuso da ogni parte, ha il diametro esterno di $2^m,50$, e l'altezza di $1^m,75$: la grossezza della lamiera è $C^m,01$ e il suo peso specifico 7,79. Si domanda se questo cilindro immerso nell' acqua galleggierà, e, nel caso affermativo, per qual parte della sua altezza si immergerà nel liquido, supposto che rimanga in posizione verticale.

Il cilindro galleggierà, e l' altezza della parte che rimane immersa è $0^m,3705$.

XXIII. Un cono di cui tanto l'altezza quanto il diametro della base è 5 metri, immerso nell' acqua, in modo che il suo asse sia verticale, vi sta in equilibrio col vertice in basso quando il livello giunge ai $\frac{2}{3}$ della lunghezza del lato, partendo dal vertice. Si domanda il peso P di questo cono.

$$P = 9696^{ch.},3.$$

XXIV. Un cono dell' altezza di 15 decimetri, ed avente il raggio della base eguale a 6 decimetri, galleggia coll' asse verticale e la base in basso in un liquido, e vi si affonda di 2 decimetri: si domanda

1.° il volume V del liquido spostato dalla parte immersa.

2.° L' altezza a della parte di cono che sarebbe immersa se si rovesciasse il cono, disponendolo col vertice in basso.

$$1.° \; V = 197^{dec.\ cub.}\ 367; \quad 2.° a = 10^{dec.}56.$$

XXV. Un cilindro retto ordinario è immerso nell' acqua in modo che il suo asse sia orizzontale, e vi rimane in equilibrio quando l' asse del cilindro sovrasta al livello di una quantità eguale alla metà del raggio. Si domanda il peso P del cilindro, sapendosi che la lunghezza del cilindro è di 20^m e il diametro della base è $= 12^m$. (Si farà il calcolo coi logaritmi).

$$P = 42212 \text{ chilogrammi.}$$

XXVI. Uno dei rami di un sifone è pieno di mercurio fino all' altezza di $C^m,175$; l'altro contiene un altro liquido che si eleva sino a $0^m,42$ e le due colonne si fanno equilibrio: si domanda il peso specifico p del secondo liquido relativamente al mercurio ed anche il peso specifico P relativamente all' acqua.

$$p = 0,416 \qquad P = 5,666.$$

XXVII. Ammesso che l' aria pesa $\frac{1}{770}$ dell' acqua a pari volume, si domanda il peso P dell' aria contenuta in un cilindro dell' altezza di $0^m,5$ e la cui circonferenza della base è di $0^m,3$.

$$P = 7^{gr.},441.$$

XXVIII. Trovare il valore numerico p della pressione che esercita l' atmosfera sopra un rettangolo di cui un lato è $0^m,26$ e la diagonale $0^m,41$, supposta l' altezza barometrica $0^m,76$.

$$p = 950^{ch.},773.$$

XXIX. Calcolare il valore numerico p della pressione atmosferica sopra un circolo del diametro di $1^m,37$, supposta l'altezza barometrica $0^m,76$.

$$p = 15227^{ch.},6.$$

XXX. Calcolare la pressione P esercitata in direzione verticale dall' atmosfera sopra una sfera del diametro di $1^m,25$, supposta l' altezza del barometro di $0^m,76$.

$$P = 12670^{ch.},5468.$$

XXXI. Calcolare la pressione atmosferica P sopra una sfera del raggio di $0^m,75$, supposta l' altezza barometrica $= 0^m,720$.

$$P = 5603588 \text{ chilogrammi}.$$

XXXII. Calcolare il peso totale dell' atmosfera, ammettendo l' altezza barometrica eguale a $0^m,76$, e il raggio della terra, che si supporrà sferica, eguale a 6366 chilometri. Calcolare inoltre il volume della massa d' oro equivalente in peso a quello dell' atmosfera, supponendo il peso specifico dell' oro $= 19,363$ e quello del mercurio $= 13,593$.

Peso dell' atmosfera $= 5\ 260\ 711\ 308\ 031\ 872\ 000^{ch.}$

Volume dell' oro $= 271\ 720\ 7?3\ 085\ 726$ metri cubi.

XXXIII. Sopra una vasca, che contiene del mercurio, sta un tubo cilindrico chiuso superiormente e immerso coll' altro capo nel liquido: in questo tubo trovasi una colonna d' aria dell' altezza di $1^m,85$ alla pressione di $0^m,75$. Si domanda quale pressione f bisogna esercitare sul mercurio affinchè l' aria riducasi ad una colonna dell' altezza di soli $0^m,35$.

$$f = 3^m,464.$$

XXXIV. Il volume d' aria nel provino di una macchina di compressione era di 137 parti. Facendo agire la macchina, questo volume si è ridotto a 25 parti e il mercurio si è sollevato nel provino di $0^m,45$; si domanda il rapporto r tra la quantità primitiva dell' aria contenuta nel recipiente e quella che vi si trova dopo la compressione.

$$r = \frac{1}{6,072}$$

XXXV. La campana di una macchina pneumatica contiene $2^{lit.},17$ di aria. Il barometro, la cui canna comunica superiormente colla campana, segna zero quando questa è in comunicazione coll' atmosfera. Chiusa la campana e fatta agire la macchina, il mercurio si alza nel barometro sino a $0^m,65$. Un secondo barometro collocato presso alla macchina segnò

m,73 per tutta la durata dell'esperimento. Si domanda il peso P dell'aria estratta dalla campana e il peso R di quella che vi rimane, supposto sempre zero la temperatura dell'aria stessa.

P = 3gr.,525.   R = 0gr.,596.

XXXVI. Un globo di vetro può contenere 8gr.,548 di aria alla pressione 0m,76: empito il medesimo globo con protossido di azoto, il cui peso specifico è 1,52, si domanda quale sia il peso p di questo gas nel caso che la sua pressione sia 0m,76, e quale il peso q quando la pressione sia 0m,78, supposte in ogni caso che la temperatura rimanga costante.

p = 1[illegible]gr.9,93, q = 13gr.,3[illegible]2.

XXXVII. Un globo di vetro, vuoto, pesa 152gr.,475; pieno d'aria pesa [illegible]6[illegible]gr.,386 e pieno di un altro gas pesa 157gr.,2[illegible]5. Si domanda: 1° il peso specifico p di questo gas rispetto all'aria, nell'ipotesi che la pressione rimanga invariata; 2° il peso specifico p' del medesimo gas, nell'ipotesi che la pressione sia stata di 0m,77 mentre si pesava l'aria, e di 0m,74 mentre pesavasi d'altro gas.

p = 0,299. p' = 0,011.

XXXVIII. In un vase vuoto a pareti inestensibili e della capacità di 60 litri si introducono 30 litri di azoto alla pressione 0m,72, poi 15 litri di ossigeno alla pressione 0m,64 e 5 litri di gas acido carbonico alla pressione 0m,78; quale sarà la forza elastica f del miscuglio?

f = 0m,585.

XXXIX. Un'asta di piombo si dilata quanto una d'acciajo della lunghezza di 3m; si sa che il coefficiente di dilatazione del piombo è $\frac{1}{351}$, e quello dell'acciajo $\frac{1}{327}$: si domanda la lunghezza l dell'asta di piombo.

l = 3m,22.

XL. Si domanda il volume V di 40 chilogrammi di mercurio a 100°, conoscendosi il peso specifico di questo liquido a 0° che è 13,59.

V = [illegible]lit.,997.

XLI. Calcolare il peso P del mercurio alla temperatura di 26° contenuto in un vase conico, che a quella temperatura ha l'altezza di 0m,87 e il raggio della base di 0m,23, ammettendo che il peso specifico del mercurio a 0° sia 13,596 e il suo coefficiente di dilatazione sia 0,00018.

P = 65[illegible]ch,263.

XLII. La pressione atmosferica fece salire nel barometro il mercurio a 0m,76, alla temperatura 0°: si domanda a quale altezza a la stessa pressione lo avrebbe elevato se la temperatura fosse stata di 25°, sapendosi che il coefficiente di dilatazione del mercurio è $\frac{1}{5550}$

a = 76ch.,34.

XLIII. Sapendosi che la densità del idrogeno rispetto all'aria è 0,0692 e che quella dell'aria rispetto all'acqua è $\frac{1}{770}$ si domanda: 1° quale è il peso p dell'idrogeno a 0° ed alla pressione 0m,76 contenuto in un pal-

lone sferico la cui superficie è di 10 metri quadrati; 2° quale sarebbe il peso p' dello stesso volume di idrogeno alla temperatura di 15° ed alla pressione 0m,77.

$p=$ ch.26717. $p'=$ ch.,25662.

XLIV. Quale è la temperatura θ dell'acqua che si ottiene mescolando 8 chilogrammi di ghiaccio a 0° con 34 chilogrammi d'acqua a 59°?

$\theta=33°,3.$

XLV. Venendo mescolati 3ch.,5 di ghiaccio a 0° con 45ch. di acqua a 32°, si domanda la temperatura θ del miscuglio.

$\theta=23°,9.$

XLVI. Si è mescolato un chilogrammo d'acqua a zero con un chilogrammo di mercurio a 100°; si trova che la temperatura del miscuglio è 3°: si domanda quale è il calorico specifico c del mercurio.

$c=0,0399.$

XLVII. In una certa massa d'acqua a 14° si fanno condensare 25 chilogrammi di vapore d'acqua bollente alla pressione ordinaria dell'atmosfera, e la temperatura ascende allora a 61°,4. Si domanda il peso P di questa massa d'acqua, ammettendo che non siasi impiegato calore a riscaldare il vase, e che durante l'esperienza non se ne siano fatte altre perdite, e supponendo noto inoltre che il calorico latente del vapore d'acqua è 530.

P = 302ch.,46gr..

XLVIII. In 300 litri d'acqua a 14° si fecero condensare 25 chilogrammi di vapore d'acqua bollente alla pressione 0m,77; la temperatura della massa trovasi allora cresciuta sino a 61°,4: si domanda quale è il calorico latente x del vapore d'acqua.

$x=530,2.$

ENUNCIATI DI PROBLEMI SENZA SOLUZIONE.

I. Un vase foggiato a tronco di cono è pieno di un liquido il cui peso specifico è 1,82. L'altezza del tronco di cono è di 20 centimetri, e i raggi delle basi sono 12 e 15 centimetri. Si domanda il volume e il peso del liquido contenuto nel vase.

II. Una sfera del raggio di 0m,25 pesa 561ch.,731. Si domanda il peso specifico della sostanza di cui essa è formata.

III. Trovare il valore, a meno di un centimetro, del raggio di una sfera di piombo il cui peso è di 275 chilogrammi, essendo il peso specifico del piombo 11,35.

IV. Calcolare la grossezza di una sfera cava di ottone il cui diametro esterno è di 0m,750 e il peso totale 67ch.,8, essendo 8,39 il peso specifico dell'ottone.

V. Calcolare lo spigolo di un tetraedro regolare d'oro, il cui peso è di 2 chilogrammi, sapendo che il peso specifico dell'oro è 19,26.

VI. Le pareti di un vase cilindrico di metallo hanno la grossezza di un centimetro e il peso specifico 7; il diametro della base è 50 centimetri; si domanda:

1.° Il peso del vase in grammi.

2.° L'altezza della parte di esso che rimarrebbe immersa ponendolo a galleggiare sull'acqua.

VII. Un pezzo prismatico di ghiaccio galleggiante in mare sporge di due metri sulla superficie del liquido. Si domanda l'altezza totale del pezzo, sapendosi che il peso specifico dell'acqua di mare è 1,026 e quello del ghiaccio 0,8).

VIII. Quale è il rapporto dei pesi x ed y di due cilindri, l'uno di ferro l'altro di platino, che bisognerebbe attaccare insieme per ottenere un sistema che potesse tenersi in equilibrio intieramente immerso nel mercurio, supponendo 21 il peso specifico del platino, 13,6 quello del mercurio e 7,8 quello del ferro.

IX. Un corpo, immerso in un liquido di peso specifico maggiore del proprio, ne sposta un volume di 3 decimetri cubi; quale volume di liquido verrebbe invece spostato se la temperatura del liquido crescesse di 100 gradi, essendo $\frac{1}{500}$ il coefficiente di dilatazione del liquido.

X. Sopra uno dei gusci di una bilancia viene collocato un corpo e sull'altro si pongono 280gr., che gli fanno equilibrio. Poi si cambia il posto al corpo, ponendolo nell'altro guscio, e si trova che basta per l'equilibrio un peso di 240,gr.: si domanda il peso del corpo.

XI Si fa agire una macchina pneumatica fino a che la tensione, la quale dapprima era 0m,74, diventi di 0m,15; il recipiente della macchina ha la capacità di 6lit.,45, e il corpo di tromba 1lit.. Si domanda quale numero di corse dello stantuffo si richieda per produrre questo effetto, supposto che la temperatura resti costante.

XII. Due corpi di tromba cilindrici verticali comunicano tra loro per mezzo di un tubo orizzontale: uno dei corpi di tromba ha una sezione di 10 centimetri quadrati e l'altro di 2 decimetri quadrati. Supposto che l'acqua sia in equilibrio nell'apparato e che sulla superficie del liquido nel cilindro maggiore si ponga uno stantuffo del peso di 200 chilogrammi, si domanda con quale forza bisognerà premere nel minore la superficie del liquido per impedire la discesa dello stantuffo.

XIII. Esprimere in gradi centesimali la differenza tra — 15 gradi Réaumur e — 10 gradi Fahrenheit.

XIV. Un barometro segna 0m,775 alla temperatura di 15°, 2 : questa altezza è misurata sopra un regolo metallico il cui coefficiente di dilatazione è $\frac{1}{21000}$: si domanda quale è l'altezza del barometro ridotta a zero, rammentando che il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio è $\frac{1}{5550}$.

XV. Sapendosi che una sbarra metallica è lunga 3m,390 alla temperatura 0° e 3m,951 alla temperatura di 83°, calcolare i coefficienti di dilatazione lineare e cubica del metallo di cui è formata.

XVI. Dato il volume V di un gas alla temperatura t ed alla pressione h, dimostrare la formola che serve ad ottenere il volume V' del gas alla temperatura t' ed alla pressione h.

XVII. Sapendosi che il coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00366 e che il peso di un metro cubo d'aria alla temperature 0° e alla pressione

di 760 millimetri è $1^{ch.},3$; si domanda quale è la temperatura di una massa d'aria il cui peso, alla pressione di 540 millimetri, di è 382 grammi per ogni metro cubo.

XVIII. Ridurre a 0^{0} l'altezza barometrica $0^{m},737$ osservata a $12^{0},7$.

XIX. Alla pressione di 765 millimetri e alla temperatura di $-11^{0},2$ il volume di una massa di gas è $47^{lit.},259$: si domanda quale sarà il volume della stessa massa di gas a $+35^{0}$ e sotto la pressione di 778 millimetri.

XX. Quale sarebbe l'altezza dello strato di pioggia necessaria per fondere una falda di ghiaccio a 0^{0} della grossezza di $0^{m},05$, supponendo 15^{0} la temperatura dell'acqua piovana.

XXI. Un vase di ottone del peso di 100 grammi contiene 200 grammi d'acqua a 0^{0} e 100 grammi di ghiaccio parimenti a 0^{0}. Si domanda quanto vapore a 10 gradi sotto la pressione $0^{m},76$ bisognerebbe introdurvi per fondere il ghiaccio e scaldare tutta l'acqua sino a 10 gradi.

Il calorico specifico dell'ottone è 0,0039; il calorico latente di fusione del ghiaccio è 79,25 e il calorico latente del vapore d'acqua è 537.

XXII. Sapendosi che una sostanza si fonde a 120^{0}, che il suo calorico specifico allo stato solido è 0,03 e allo stato liquido 0,04, si vuol dedurre il suo calorico latente di fusione dai seguenti dati: 3 chilogrammi di questa sostanza furono immersi allo stato solido ed alla temperatura di 100^{0} in una massa liquida di 80 chilogrammi della stessa sostanza alla temperatura di 135^{0}, e, dopo la fusione del corpo solido, si è trovata la temperatura finale di 130^{0}.

XXIII. Esporre il metodo generale per determinare il calorico specifico dei liquidi e calcolare il calorico specifico della essenza di trementina, sapendo che essendo stati mescolati $42^{gr.},67$ di questa essenza a $33^{0},7$ con $470^{gr.},3$ di acqua a $12^{0},23$, la temperatura del miscuglio riescì di $15^{0},57$. Si supporrà l'essenza di trementina chiusa in un tubo di vetro il cui peso sia di $5^{gr.},25$ e il calorico specifico 0,177: l'acqua poi si supporrà contenuta in un vase di rame del peso di $45^{gr.},25$ e si assumerà il calorico specifico del rame eguale a 0,035.

XXIV. Quando si mescolino 750 grammi di ferro a $100^{0},75$ con 4,25 grammi d'acqua a $10^{0},24$, si domanda quale sarà la variazione di temperatura dell'acqua, fatta astrazione dal riscaldamento o raffreddamento prodotto dal contatto del vase e dell'aria ambiente, e supposto il calorico specifico del ferro eguale a 0,1138.

XXV. Supposto che 575 chilogrammi di ghiaccio a 0^{0} siano mescolati con 2200 chilogrammi d'acqua alla temperatura di 30^{0}, si domanda se il ghiaccio verrà tutto fuso, e, nel caso dell'affermativa, si domanda quale sarà la temperatura finale, fatta astrazione dalle perdite o dai guadagni provenienti da altri corpi.

XXVI. Trovare il peso di un metro cubo di vapore d'acqua a 25 gradi ed alla pressione di 20 millimetri di mercurio, sapendo che un metro cubo d'aria secca pesa $1^{ch},3$ a 0^{0} ed alla pressione di $0^{m},76$, ed inoltre che il peso specifico del vapore acqueo rispetto all'aria è 0,625.

Trovare il raggio della sfera che può essere empita da 1 chilogrammo di vapore nelle dette condizioni.

FINE DELL'APPENDICE.

INDICE DELLE MATERIE

LIBRO I.

DELLA MATERIA, DELLE FORZE E DEL MOTO

LIBRO II.

GRAVITA' ED ATTRAZIONE MOLECOLARE

LIBRO III.

DEI LIQUIDI

LIBRO IV.

DEI GAS.

LIBRO V.

ACUSTICA

LIBRO VI.

DEL CALORICO

LIBRO VII.

DELLA LUCE

LIBRO VIII.

DEL MAGNETISMO.

LIBRO IX.

ELETTRICITA' STATICA

LIBRO X.

ELETTRICITA' DINAMICA

LIBRO XI.

ELEMENTI DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA

APPENDICE